

《四川省生态环保技术 2022 年度白皮书 (固体废物污染防治领域)》

四川省生态环境厅
四川省科学技术厅
四川省环境科学学会

二〇二三年十二月

前 言

近年来，我省污染防治攻坚战不断深入，生态环境质量持续改善，生态环境保护事业取得较大发展，生态环境科技支撑作用成效明显，科技水平和创新能力不断提升。为全面掌握行业绿色转型发展的科技需求，精准评估全省生态环境科技发展水平状况，更好地推动生态环境科技成果转化和产业化应用，不断提高科技服务水平，由四川省生态环境厅、四川省科学技术厅牵头，四川省环境科学学会组织编写《四川省生态环保技术白皮书》。因涵盖领域较广、涉及技术种类众多，采取分年度分专业领域进行编写。

前两年已编制完成《四川省生态环保技术 2020 年度白皮书（水环境领域）》《四川省生态环保技术 2021 年度白皮书（大气环境领域）》并对外发布，2023 年按计划聚焦我省固体废物污染防治领域编写《四川省生态环保技术 2022 年度白皮书（固体废物污染防治领域）》。本书调查分析全省固体废物污染防治科技基础能力、固体废物污染防治科技研发水平与推广应用等方面情况，从固体废物污染防治技术政策概述、一般工业固体废物处理处置技术、危险废物处理处置技术、生活垃圾处理处置技术、农业固体废弃物处理处置技术、城市矿产处理处置技术、其他固废处理处置技术等

七个版块，系统梳理了我省固体废物污染防治领域的发展现状、技术水平与需求，展示了当前主要技术与典型应用案例，并结合生态环境管理需求，提出了固体废物污染防治科技创新未来发展重点方向的建议。

本书充分利用四川省环境科学学会的学科资源优势，精心组织与统筹安排，成立了由四川省生态环境科学研究院、四川省固体废物与化学品管理中心、西南交通大学、西南石油大学、四川农业大学、四川省环保产业协会固体废物处理与资源综合利用分会等科研院所、川内高校和行业协会相关专家构成的编制课题组，并根据擅长领域安排专人分章负责编写任务。

希望本书能推动我省固体废物污染防治领域先进适用技术的推广应用，畅通科研院所、科技企业间的供需对接和交流合作渠道，为促进我省生态环保科技创新和成果转化、深入打好污染防治攻坚战、改善生态环境质量、推动经济高质量发展提供有力科技支撑。因受时间和资料限制，书中如有不妥和疏漏之处，敬请批评指正。

编委会

2023 年 12 月

编 委 会

主 任：

四川省生态环境厅党组成员、副厅长 彭 勇

副主任：

四川省生态环境厅科技与财务处处长 阳 恺

四川省科学技术厅社会发展科技处处长 胡 钢

四川省环境科学学会副理事长/研究员 叶 宏

编 委：

四川省生态环境厅固体废物与化学品处处长 孙 涛

四川省生态环境厅科技与财务处副处长 文 芒

四川省科学技术厅社会发展科技处三级调研员 冷 祥

四川省生态环境厅科技与财务处二级主任科员 王咸钟

四川省生态环境科学研究院副院长/正高级工程师 龙 泉

四川省固体废物与化学品管理中心主任 谭 刚

四川省生态环境科学研究院固体废弃物环境研究所
所长/研究员 雍 毅

四川省生态环境科学研究院土壤及地下水环境研究所
所长/正高级工程师 吴 怡

西南交通大学教授 李启彬

西南石油大学工业危废处置与资源化利用研究院
院长/教授 刘宇程

四川农业大学环境学院副院长/教授 沈 飞

四川省环境科学学会秘书长/高级工程师 胡颖铭

四川省环保产业协会固体废物处理与资源综合利用
分会会长 吴章杰

四川省环境科学学会工程师 李 菊

目 录

第一章 四川省固体废物污染防治技术政策概述	1
一、全省固体废物污染防治工作现状	1
二、全省固体废物污染防治政策标准制定情况	1
（一）国、省、市政策标准	1
（二）团体标准	9
三、全省固体废物全过程监管体系构建情况	10
（一）不断健全固废法规政策标准体系	10
（二）基本建成危险废物全过程信息化管理体系	11
（三）初步建成一般工业固废电子化管理体系	12
（四）积极推动生活垃圾分类体系建设	12
（五）持续推进农业固废处理处置	13
（六）全面实施塑料污染治理	14
四、全省固体废物污染防治能力建设情况	14
（一）“无废城市”建设工作	14
（二）循环经济园区建设	26
（三）创新平台建设情况	28
（四）全省固体废物领域科学技术奖励情况	36
第二章 四川省一般工业固体废物处理处置技术	42
一、全省一般工业固体废物处理处置现状	42
二、一般工业固体废物处理处置技术水平与需求	44
（一）尾矿	44
（二）磷石膏	45
（三）其他	46
三、一般工业固体废物利用处置技术介绍	48
（一）资源化利用	48
（二）无害化处置	52
四、一般工业固体废物处理处置技术典型应用案例	56

案例一：磷石膏利用生产石膏基自流平砂浆	56
案例二：冶炼废渣综合利用	57
案例三：尾矿污染防治	61
案例四：尾矿综合利用	65
五、结论与展望	68
（一）结论	68
（二）展望	68
第三章 四川省危险废物利用与处置技术	71
一、全省危险废物产出现状	71
二、危险废物处理处置技术水平与需求	74
（一）危险废物处置能力情况	74
（二）危险废物处理处置技术	74
（三）危险废物利用处置技术需求	75
（四）危险废物资源化利用	76
三、危险废物利用处置技术介绍	77
（一）焚烧处理技术	77
（二）固化/稳定化处置技术	78
（三）资源化利用技术	78
（四）安全填埋处置	79
（五）水泥窑协同处置技术	79
（六）等离子体气化熔融技术	80
（七）医疗废物处置技术	81
四、危险废物利用处置技术典型应用案例	83
案例一：分段精准控温抑裂解的固态分子分馏技术	83
五、结论与展望	85
（一）结论	85
（二）展望	86
第四章 四川省生活垃圾处理处置技术	89
一、全省生活垃圾处理处置现状	89

(一) 生活垃圾处理处置现状	89
(二) 餐厨垃圾处理处置现状	93
(三) 政策法规	94
二、生活垃圾处理处置技术水平与需求	95
(一) 垃圾分类技术水平	95
(二) 转运及污染治理技术水平	96
(三) 焚烧处理技术水平	97
(四) 填埋处置技术水平	101
(五) 餐厨垃圾处理技术水平	103
三、生活垃圾处理处置与污染防治技术介绍	104
(一) 生活垃圾处理处置技术	104
(二) 污染防治技术	108
四、生活垃圾处理处置技术典型应用案例	111
案例一：成都市金牛区 2 万户家庭厨余垃圾分类服务试点及推广	111
案例二：成都市武侯区地下垃圾压缩转运站	113
案例三：成都市某环保发电厂（二期）	114
案例四：成都市固体废弃物卫生处置场（三期）	116
案例五：遂宁市餐厨垃圾及废弃油脂资源化综合利用项目	120
五、结论与展望	122
(一) 结论	122
(二) 展望	123
第五章 四川省农业固体废弃物处理处置技术	125
一、全省农业固体废弃物处理处置现状	125
二、农业固体废弃物处理处置技术水平与需求	131
三、农业固体废弃物处置技术介绍	136
(一) 秸秆处置技术	136
(二) 畜禽养殖粪污处置技术	140
(三) 农膜处置技术	147
(四) 农药包装处置技术	149

(五) 塑料处置技术	150
四、农业固体废弃物处置技术典型应用案例	156
案例一：有机废弃物种养循环综合利用项目	156
案例二：禽畜粪便秸秆等有机固体生产有机肥技术	158
五、结论与展望	159
(一) 结论	159
(二) 展望	160
第六章 四川省城市矿产处理处置技术	162
一、全省城市矿产处理处置现状	163
(一) 城市矿产政策和管理现状	163
(二) 废旧家电拆解企业分布情况	163
(三) 废旧家电拆解处置情况	164
(四) 废旧动力电池回收处置情况	166
二、城市矿产处理处置技术水平与需求	166
(一) 废旧家电拆解处理技术水平	166
(二) 废旧家电拆解处理技术需求	167
三、城市矿产处理处置技术介绍	169
四、城市矿产处理处置技术典型应用案例	174
案例一：废荧光灯及其他含汞电光源无害化处置技术	174
案例二：废线路板拆解处理技术及烟气治理技术	176
案例三：废旧热塑性弹性体（TPR）利用技术	178
五、结论与展望	180
(一) 结论	180
(二) 展望	181
第七章 四川省其他固废处理处置技术	182
一、全省其他固废处理处置现状	182
(一) 四川省生活污水产处现状	182
(二) 建筑垃圾产处现状	185
(三) 园林绿化废弃物产处现状	185

二、其他固废处理处置技术水平与需求 187

 （一）生活污水技术水平与需求 187

 （二）建筑垃圾技术水平与需求 192

 （三）园林垃圾技术水平与需求 195

三、其他固废处理处置技术介绍 196

 （一）污泥处理处置技术 196

 （二）建筑垃圾处置技术 201

 （三）园林绿化废弃物处置技术 202

四、其他固废处理处置技术典型应用案例 204

 案例一：成都市某污泥处理厂一期污泥处置工程 204

 案例二：基于厌氧消化的攀枝花市餐厨垃圾和污泥协同处置项目 207

五、结论与展望 209

 （一）结论 209

 （二）展望 210

《四川省生态环保技术 2022 年度白皮书 (固体废物污染防治领域)》

第一章 四川省固体废物污染防治技术政策概述

一、全省固体废物污染防治工作现状

2022年，四川省加强固体废弃物监管处置。开展危险废物专项整治，建立废弃危险化学品等危险废物监管联动工作机制。推进危险废物规划项目建设，全省危险废物综合经营持证单位达79家，利用处置能力521.16万吨/年、同比增加37.05%；医疗废物集中处置能力14.99万吨/年、同比增加13.8%。危险废物集中收集能力5.5万吨/年，实现“零突破”；废铅蓄电池集中收集能力73.2万吨/年，同比增加3万吨/年。联合重庆市印发实施《关于推进成渝地区双城经济圈“无废城市”共建的指导意见》《成渝地区双城经济圈“无废城市”共建机制》。深化尾矿库污染防治，印发《四川省“十四五”尾矿库污染治理实施方案》，实施分类分级环境监管，持续排查整治尾矿库环境问题。

二、全省固体废物污染防治政策标准制定情况

(一) 国、省、市政策标准

1. 国家政策标准

近年来国家发布的关于固体废物污染防治的主要政策、主要标准及技术规范如表 1-1，1-2 所示。

表1-1 国家固体废物污染防治主要政策

序号	政策名称	发布时间
1	《关于坚决遏制固体废物非法转移和倾倒进一步加强危险废物全过程监管的通知》（环办土壤函〔2018〕266号）	2018-05-10
2	《关于提升危险废物环境监管能力、利用处置能力和环境风险防范能力的指导意见》（环固体〔2019〕92号）	2019-10-16
3	《医疗废物集中处置设施能力建设实施方案》（发改环资〔2020〕696号）	2020-04-30
4	《农药包装废弃物回收处理管理办法》（中华人民共和国农业农村部 生态环境部令 2020 年第 6 号）	2020-08-27
5	《关于全面禁止进口固体废物有关事项的公告》（公告 2020 年 第 53 号）	2020-11-25
6	《关于推进危险废物环境管理信息化有关工作的通知》（环办固体函〔2020〕733号）	2020-12-31
7	《关于“十四五”大宗固体废弃物综合利用的指导意见》（发改环资〔2021〕381号）	2021-03-18
8	《国务院办公厅关于印发强化危险废物监管和利用处置能力改革实施方案的通知》	2021-05-25
9	《“十四五”全国危险废物规范化环境管理评估工作方案》（环办固体〔2021〕20号）	2021-09-02
10	《关于加强危险废物鉴别工作的通知》（环办固体函〔2021〕419号）	2021-09-07
11	《关于开展工业固体废物排污许可管理工作的通知》（环办环评〔2021〕26号）	2021-12-22
12	《关于开展小微企业危险废物收集试点的通知》（环办固体函〔2022〕66号）	2022-02-23
13	《关于进一步推进危险废物环境管理信息化有关工作的通知》（环办固体函〔2022〕230号）	2022-06-17
14	《国家发展改革委等部门关于加强县级地区生活垃圾焚烧处理设施建设的指导意见》（发改环资〔2022〕1746号）	2022-11-29

表1-2 国家固体废物污染防治主要标准规范

序号	标准名称
1	《固体废物鉴别标准 通则》（GB 34330-2017）
2	《固体废物玻璃化处理产物技术要求》（GB/T 41015-2021）
3	《排污许可证申请与核发技术规范 工业固体废物（试行）》（HJ 1200-2021）
4	《排污许可证申请与核发技术规范 工业固体废物和危险废物治理》（HJ1033-2019）
5	《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》（GB 30485-2013）
6	《水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范》（HJ 662-2013）
7	《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB 18599-2020）
8	《一般工业固体废物管理台账制定指南（试行）》
9	《一般工业固体废物储存、处置场污染控制标准》（GB18599-2001）

序号	标准名称
10	《危险废物填埋污染控制标准》（GB 18598-2019）
11	《危险废物焚烧污染控制标准》（GB 18484-2020）
12	《建设项目危险废物环境影响评价指南》
13	《危险废物产生单位管理计划制定指南》
14	《危险废物管理计划和管理台账制定技术导则》（HJ 1259-2022）
15	《危险废物鉴别标准 通则》（GB 5085.7-2019）
16	《危险废物鉴别技术规范》（HJ 298-2019）
17	《医疗废物集中处置技术规范（试行）》（环发〔2003〕206号）
18	《医疗废物处理处置污染控制标准》（GB 39707-2020）
19	《新型冠状病毒感染的肺炎疫情医疗废物应急处置管理与技术指南（试行）》
20	《生活垃圾填埋场污染控制标准》（GB 16889-2008）
21	《生活垃圾焚烧污染控制标准》（GB 18485-2014）
22	《生活垃圾焚烧飞灰污染控制技术规范（试行）》
23	《大件垃圾收集和利用技术要求》（GB/T 25175-2010）
24	《农业固体废物污染控制技术导则》（HJ 588-2010）
25	《畜禽养殖业污染物排放标准（GB 18596-2001）》
26	《畜禽粪便无害化处理技术规范》（GB/T36195-2018）
27	《畜禽粪便还田技术规范》（GB/T25246-2010）
28	《畜禽养殖业污染治理工程技术规范》（HJ 497—2009）
29	《畜禽粪便农田利用环境影响评价准则》（GB/T 26622）
30	《畜禽粪便堆肥技术规范》（NY/T 3442-2019）
31	《畜禽养殖粪便堆肥处理与利用设备》（GB/T 28740）
32	《畜禽粪便贮存设施设计要求》（GB/T 27622-2011）
33	《肥料中有毒有害物质的限量要求》（GB 38400-2019）
34	《沼气工程技术规范第1部分：工程设计》（NY/T 1220.1-2019）
35	《农田灌溉水质标准》（GB5084-2021）
36	《农药包装废弃物安全回收操作规程》（DB45/T1662-2017）
37	《农药原料包装桶清洗利用技术规程》（DB45/T2253-2021）
38	《农作物秸综合利用技术通则》（NY/T3020-2016）
39	《全生物降解农用地膜覆盖薄膜》（GB/T35795-2017）
40	《废旧地膜回收技术规范》（GH/T 1354-2021）
41	《废塑料回收与再生利用污染控制技术规范》（DB13/T5361-2021）
42	《废塑料污染控制技术规范》（HJ 364-2022）
43	《废锂离子动力蓄电池处理污染控制技术规范（试行）》（HJ 1186-2021）
44	《废铅蓄电池处理污染控制技术规范》（HJ 519-2020）

四川省认真贯彻落实国家关于固体废物污染防治的政策标准，如自 2020 年新冠肺炎疫情发生以来，参照《新型冠状病毒感染的肺

肺炎疫情医疗废物应急处置管理与技术指南（试行）》开展了全省涉疫医疗废物应急处置与管理，发布了《关于加强新型冠状病毒肺炎医疗废物应急处置工作的紧急通知》（川疫指办发〔2020〕2号）、《关于加强新型冠状病毒肺炎疫情医疗废物全过程监管的补充通知》（川疫指办发〔2020〕3号）、《关于确定全省新型冠状病毒感染的肺炎疫情医疗废物应急处置备用设施的紧急通知》（川环函〔2020〕62号）、《新型冠状病毒感染的肺炎疫情医疗废物应急处置污染防治技术指南（试行）》等文件，根据四川省实际情况提出了全省医疗废物应急处置措施、监管要求及技术要求，确保医疗废物及时、有序、高效、无害化处置，有效防控新冠肺炎疫情期间环境风险。

认真贯彻落实《关于加强危险废物鉴别工作的通知》，发布了《关于开展全省危险废物鉴别工作的通知》（川环规〔2022〕2号）、《关于推进危险废物鉴别全过程信息化管理工作的通知》（川环办函〔2022〕424号），对国家有关要求进行了细化和补充，进一步推动危险废物鉴别工作在四川省落地落实，并组建了四川省危险废物鉴别专家委员会，出台了《四川省危险废物鉴别专家委员会章程（试行）》《四川省危险废物鉴别异议评估工作规程（试行）》，目前全省共有25家危险废物鉴别单位，全省已开展危险废物鉴别项目78个，开展异议评估1份鉴别报告，抽查复核2份鉴别报告。

2.四川省政策标准

近年来，四川省发布的关于固体废物污染防治的主要政策、标准及技术规范如表1-3，表1-4所示。

表1-3 四川省固体废物污染防治主要政策

序号	政策名称	发布时间
1	《关于推进全省农村生活垃圾分类和处置工作的指导意见》	2020 年 4 月 1 日
2	《重庆市生态环境局 四川省生态环境厅 危险废物跨省市转移“白名单” 合作机制》	2020 年 4 月
3	《四川省进一步加强塑料污染治理实施办法》（川发改环资〔2020〕345 号）	2020 年 7 月 2 日
4	《四川省危险废物专项整治三年行动实施方案》（川环函〔2020〕610 号）	2020 年 8 月 14 日
5	《关于加强城市建筑垃圾管理与资源化利用的指导意见》（川建行规〔2020〕9 号）	2020 年 11 月 16 日
6	《四川省人民政府办公厅关于加强危险废物环境管理的指导意见》（川办发〔2020〕73 号）	2020 年 11 月 27 日
7	《重庆市生态环境局 四川省生态环境厅 贵州省生态环境厅 云南省生态环境厅危险废物跨省市转移“白名单” 合作机制》	2020 年 11 月
8	《四川省危险废物集中处置设施建设规划（2017—2022 年）中期调整方案》（川环发〔2020〕47 号）	2020 年 12 月 4 日
9	《关于进一步推进生活垃圾分类工作的实施意见》（川建行规〔2021〕12 号）	2021 年
10	《四川省城镇生活污水和城乡生活垃圾处理设施建设三年推进总体方案（2021—2023 年）》（川办发〔2020〕86 号）	2020 年 12 月 29 日
11	《四川省危险废物集中收集贮存试点工作方案》（川环发〔2021〕9 号）	2021 年 5 月 21 日
12	《关于加强全省危险废物鉴别工作的通知》（川环规〔2022〕2 号）	2022 年 3 月 23 日
13	《关于成立第一届四川省危险废物鉴别专家委员会的通知》（川环办函〔2022〕107 号）	2022 年 3 月 28 日
14	《四川省生活垃圾焚烧发电中长期规划（2022 年修订）》（川发改环资〔2022〕231 号）	2022 年 5 月 10 日
15	《湖北省 湖南省 重庆市 四川省 贵州省危险废物案件跨省联合执法工作机制》	2022 年 5 月
16	《关于开展危险废物全过程物联网监管试点工作的通知》（川环办函〔2022〕186 号）	2022 年 5 月 13 日
17	《四川省固体废物污染环境防治条例》（四川省第十三届人民代表大会常务委员会公告第 115 号）	2022 年 6 月 9 日
18	《四川省人民政府办公厅 重庆市人民政府办公厅关于推进成渝地区双城经济圈“无废城市”共建的指导意见》（川办发〔2022〕52 号）	2022 年 6 月 23 日
19	《关于进一步加强城镇生活污水处理厂污泥处理处置监管的实施意见》（川建城建发〔2022〕195 号）	2022 年 8 月 9 日
20	《四川省危险废物“点对点”定向利用豁免管理试点实施方案》（川环规〔2022〕3 号）	2022 年 9 月 4 日
21	《四川省“十四五”固体废物分类处置及资源化利用规划》	2022 年 11 月
22	《四川省畜禽养殖污染防治规划》（川环发〔2022〕18 号）	2022 年 12 月 30 日

表1-4 四川省固体废物污染防治主要标准规范

序号	标准名称	发布时间
1	《四川省实验室危险废物污染防治技术指南（试行）》	2017年11月14日
2	《新型冠状病毒感染的肺炎疫情医疗废物应急处置污染防治技术指南（试行）》	2020年1月28日
3	《四川省农村生活垃圾收集转运处置建设指南（试行）》	2020年6月23日
4	《四川省建筑垃圾减量化和资源化利用指导手册（试行）》	2021年6月
5	《四川省城镇生活污水处理厂污泥处理处置技术指引（试行）》	2021年9月9日
6	《天然气开采含油污泥综合利用后剩余固相利用处置标准》（DB51/T 2850-2021）	2021年11月

近年来，四川省扎实推进了《四川省危险废物集中处置设施建设规划（2017—2022年）中期调整方案》的落实，方案实施后全省危险废物和医疗废物集中处置设施布局进一步优化，危险废物收运体系基本健全，利用处置能力显著提升，按期完成中央生态环境保护督察及“回头看”中“处置能力缺口很大”的整改任务，成效显著。截至2022年12月31日，《调整方案》中72个重点项目已建成71个，处于前期工作1个，规划项目完成率达到98.6%，重点项目实施成效显著。其中，18个危险废物集中处置项目已建成17个，处于前期工作的1个，规划项目完成率为94.4%；5个水泥窑协同处置项目和49个医疗废物集中处置设施项目均已建成，完成率为100%。全省危险废物、医疗废物集中处置能力分别达到117.79万吨/年、15.86万吨/年，较2017年（规划基准年）增加108.43万吨/年、10.49万吨/年，增幅达1158%、195%；全省水泥窑协同处置能力达到48.5万吨/年。

为推进危险废物跨省市转移审批减环节、减材料、减时限，2018年11月川渝两省市生态环境部门签订了《危险废物跨省市转移合作协议》，建立了危险废物管理信息互通、危险废物处置需求对接、危

险废物转移快审快复、突发事件危险废物应急转移、危险废物监管协调会议等机制，共享川渝两地危险废物利用处置能力、经营需求信息，确定专人负责快审快办快复商询函，为危险废物产处单位快速达成需求搭建平台。2020年4月，川渝两省市生态环境部门签订《危险废物跨省市转移“白名单”合作机制》，确定跨省市转移数量和批次较多的废铅蓄电池、废荧光灯管、废线路板等3类危险废物作为探索试点，简化跨省市转移审批手续，开展跨界联合环境监管，及时通报信息，正式建立危险废物跨省市转移“白名单”制度。2020年11月，川渝滇黔四省市生态环境部门联合签订《危险废物跨省市转移“白名单”合作机制》，将川渝两地危险废物跨省市转移“白名单”制度涵盖的区域延伸拓展到云南、贵州。该机制建立后，危险废物跨省市转移无须按批次征求对方生态环境部门意见，平均审批时限由1个多月缩减至5天，危险废物类别和经营单位由3大类、7家扩大至8大类、65家企业，审批时限缩短，审批效能提升。该机制是国内首创，在2021年5月被写入国务院办公厅印发的《强化危险废物监管和利用处置能力改革实施方案》，也为全国其他省市探索完善危险废物跨省转移制度提供了样本示范。

3.市州标准政策

四川省部分城市发布的关于固体废物污染防治的主要政策标准如表 1-5，表 1-6 所示。

表1-5 四川省部分城市固体废物污染防治主要政策

序号	城市	政策名称	发布时间
1	成都市	《成都市人民政府办公厅关于加快推进生活垃圾分类助推践行新发展理念的公园城市示范区建设的意见》(成办发〔2021〕7号)	2021年1月21日
2		《贯彻落实〈成都市生活垃圾管理条例〉推进全程分类体系建设的实施方案》(成办发〔2021〕24号)	2021年3月4日
3		《成都市城乡生活垃圾处理设施建设三年推进方案(2021—2023年)》(成办发〔2021〕50号)	2021年5月20日
4		《关于加强全市建筑垃圾管理强化建筑垃圾污染防治的实施意见》(成办发〔2021〕76号)	2021年8月2日
5		《2022年成都市生活垃圾分类提标提质工作方案》(成办发〔2022〕32号)	2022年5月23日
6		《成都市“无废城市”建设实施方案》(成办函〔2022〕88号)	2022年12月14日
7		《成都市废旧物资循环利用体系建设实施方案(2022—2025年)》(成府函〔2022〕169号)	2022年12月29日
8	绵阳市	《绵阳市城镇生活污水和城乡生活垃圾处理设施建设三年推进实施方案(2021—2023年)》(绵府办函〔2021〕41号)	2021年5月11日
9		《绵阳市“无废城市”建设实施方案》(绵府发〔2022〕22号)	2022年11月6日
10	自贡市	《自贡市城镇生活污水和城乡生活垃圾处理设施建设三年推进方案(2021-2023)》(自府办发〔2021〕8号)	2021年4月8日
11		《自贡市“无废城市”建设实施方案》(自府办发〔2023〕7号)	2023年2月14日
12	泸州市	《泸州市生活垃圾分类工作实施方案(2020—2022年)》(泸市府办发〔2020〕18号)	2020年6月4日
13	德阳市	《德阳市城乡生活垃圾处理设施建设三年推进方案(2021-2023)》(德办发〔2021〕8号)	2021年3月26日
14		《德阳市进一步推进生活垃圾分类工作实施方案(2021—2025年)》(德办发〔2021〕43号)	2021年11月23日
15	广元市	《广元市物业小区生活垃圾分类工作实施方案》(广住建〔2021〕240号)	2021年7月
16		《广元市城乡生活垃圾处理设施建设三年推进实施方案(2021—2023年)》(广府办发〔2021〕7号)	2021年4月
17	乐山市	《乐山市“无废城市”建设实施方案》乐府发〔2022〕22号	2022年12月26日
18		《乐山市城乡生活垃圾处理设施建设三年推进方案(2021—2023年)》(乐府办发〔2021〕13号)	2021年5月6日
19		《乐山市城乡生活垃圾分类和处置工作方案》(乐府办函〔2020〕14号)	2020年6月18日
20	宜宾	《宜宾市“无废城市”建设实施方案》(宜府函〔2023〕2号)	2023年1月20日

序号	城市	政策名称	发布时间
21		《宜宾市城镇生活污水和城乡生活垃圾处理设施建设三年推进实施方案（2021—2023 年）》（宜府办发〔2021〕8 号）	2021 年 3 月 16 日
22		《宜宾市生活垃圾分类和处置工作实施方案》（宜府办函〔2020〕25 号）	2020 年 5 月 29 日
23	眉山市	《眉山市城镇生活污水和城乡垃圾处理设施建设三年推进实施方案（2021—2023 年）》（眉府办发〔2021〕3 号）	2021 年 3 月 2 日

表1-6 四川省部分城市固体废物污染防治主要标准规范

序号	城市	标准名称
1	成都市	《成都市生活垃圾分类采样和检测方法》（DB5101/T 78-2020）
2		《生活垃圾分类处理规范》（DB5101/T 73-2020）
3		《生活垃圾分类设施设备设置规范》（DB5101/T 3-2018）
4	广元市	《公共机构生活垃圾分类管理规范》（DB5108/T35-2022）
5	绵阳市	《餐饮服务场所餐厨垃圾收集存放规范 第 1 部分：通用要求》（DB5107/T 88.1-2021）
6	绵阳市	《餐饮服务场所餐厨垃圾收集存放规范 第 2 部分：集中存放点要求》（DB5107/T 88.2-2021）
7	德阳市	《德阳市生活垃圾分类收集设施建设技术导则（试行）》
8	达州市	《磷石膏无害化处理技术规范》（DB5117/T 75-2023）
9	达州市	《磷石膏基植生材料生态修复应用技术规范》（DB5117/T 76-2023）

以上城市发布的固体废物污染防治相关标准主要围绕生活垃圾分类、餐厨垃圾收集等，发布的固体废物污染防治相关政策主要围绕生活垃圾处置、生活垃圾分类、无废城市建设等，也有部分关于建筑垃圾污染防治、废旧物资循环利用、秸秆循环利用等。

（二）团体标准

1.省外相关团体标准

表1-7 省外固体废物相关团体标准

序号	团体名称	标准编号	标准名称	公布日期
1	中国中小商业企业协会	T/CASME 148—2022	工业固体废物燃烧脱碳处理技术要求	2022-12-13
2	中国再生资源回收利用协会	T/ZGZS 0304—2022	危险废物高温熔融处理污染控制技术规范	2022-12-30

序号	团体名称	标准编号	标准名称	公布日期
3	广东省航海学会	T/GDIN 002—2022	船舶含油污染物接收处理 接收	2022-12-15
4	广东省航海学会	T/GDIN 001—2022	船舶含油污染物接收处理 总则	2022-12-15
5	浙江省产品与工程 标准化协会	T/ZS 0426—2022	餐厨厨余垃圾处理厂运维管理 评价规范	2022-12-28
6	中华环保联合会	T/ACEF 050—2022	生活垃圾焚烧厂污染治理技术 指南 酸性气体	2022-12-28
7	中华环保联合会	T/ACEF 049—2022	生活垃圾焚烧厂炉渣综合利用 技术规程	2022-12-28
8	中国技术经济学会	T/CSTE 0288—2022	城镇污水处理厂污泥中高温干 化后泥质	2022-12-27
9	中国技术经济学会	T/CSTE 0281—2022	污泥干化处理集成化装备设计、 施工、验收技术规程	2022-12-20
10	全国城市工业品 贸易中心联合会	T/QGCML 502—2022	城市固体废物处理处置技术要 求	2022-12-16

2.四川省团体标准

四川省生态环境领域的团体标准起步较晚，目前发布的关于固体废物污染防治的团体标准相对较少，如表 1-8 所示。

表 1-8 四川省固体废物污染防治相关团体标准

序号	标准名称	团体名称	标准编号	公布日期
1	小型智能农作物秸秆堆肥 技术规范	四川省有机肥料产业 发展促进会	T/SOFIDPA 0001—2021	2021-10-19

三、全省固体废物全过程监管体系构建情况

（一）不断健全固废法规政策标准体系

政策法规方面，修订《四川省固体废物污染环境防治条例》，并于 2022 年 9 月 1 日起正式施行，明确了固体废物管理工作的总体要求，进一步夯实部门职责；印发《关于加强危险废物环境管理的指导意见》，全面提升危险废物“三个能力”建设。制定地方标准，出台

《天然气开采含油污泥综合利用后剩余固相利用处置标准》（DB51/T2850-2021），进一步规范页岩气开采含油污泥环境管理，防范环境风险，助力行业健康可持续发展。开展区域协作，与重庆、云南、贵州等周边省份建立危废联防联控和跨省转移“白名单”合作机制，深入推进成渝地区双城经济圈“无废城市”建设。

（二）基本建成危险废物全过程信息化管理体系

目前四川省危险废物环境监管实现了全过程信息化监管，建立了全过程信息化监管体系，在全国率先启用医疗废物电子联单。依据《关于全面开展全省危险废物全过程信息化管理的通知》（川环办函〔2022〕490号），从2023年1月1日起全省危险废物产生单位（含医疗废物产生单位）、危险废物经营单位统一使用四川省固体废物管理信息系统（无废四川）建立电子管理台账、制定管理计划、执行电子转移联单和申报相关资料等，对危险废物产生、收集、贮存、转移、处置（利用）全过程进行管理。截至2023年9月28日，运行危险废物转移电子联单近80万份，危险废物转移合计190万余吨，其中运行医疗废物电子联单64万余次，医疗废物转移合计近6万吨。

此外，全省还开展了危险废物物联网监管试点，危险废物产生单位、危险废物经营单位、危险废物集中收集单位，在危险废物产生、收集、贮存、转移、处置利用等环节安装数字化标签、视频监控等物联网设备，与省固体废物综合管理平台联网，实现危险废物全生命周期“一码流转、实时感知、数据共享、全程监控、预测预警”，并且实行危险废物信息化建设“全省一盘棋”，实现与公安、交通运输、

卫生健康等部门的数据共享，危险废物数字化、智能化监管水平不断提升。截至 2023 年 9 月 28 日，全省共计 1906 家企事业单位完成物联网对接申请，其中 1469 家完成接口调用调试，进行了相关危险废物数据的传输。

（三）初步建成一般工业固废电子化管理体系

2022 年 9 月，四川省生态环境厅下发了《关于启用一般工业固体废物管理电子台账的通知》（川环函〔2022〕827 号），从 2022 年 10 月 1 日起，四川省在全国率先正式启用一般工业固体废物管理电子台账，根据全省实际实行电子台账和纸质台账“双轨并行”管理，台账内容主要包括一般工业固体废物的产生种类、数量、流向、贮存、利用、处置等信息，以及自建的一般工业固体废物贮存场所（尾矿库、堆场、贮存库等）的信息。该电子管理台账实现了数据融合贯通，系统打通了排污许可证数据、工商法人数据、固定污染源数据、危废经营许可证数据等，数据共享程度高、关联程度强，解决了数据打架、重复填报的问题。同时，还能智能分析预警，应用大数据分析等技术，系统内置数据验证、自动汇总、智能提醒等 15 种逻辑算法，可对一般工业固废引发的环境问题实现黄、橙、红三级预警，实现环境问题早发现、早预警、早处置。此外，该电子管理台账还能实时动态更新数据，可实现一般工业固体废物全过程可追溯、可查询，达到摸清底数、明晰去向、防范风险的目的。截至 2023 年 9 月 28 日，企业填报产生一般工业固体废物 21590 万吨，利用 8442 万吨，处置 2580 万吨。

（四）积极推动生活垃圾分类体系建设

及时出台配套政策，先后印发《四川省生活垃圾分类制度实施方案》《四川省生活垃圾分类和处置工作方案》《关于进一步推进生活垃圾分类工作的实施意见》，健全工作机制，明确考核办法，将垃圾分类情况纳入省政府有关目标考核。积极开展地方试点，全面启动地级及以上城市生活垃圾强制分类，地级及以上城市生活垃圾回收利用率33%，城市垃圾分类小区覆盖率63%。因地制宜推动地方立法，修订《四川省城乡环境综合治理条例》，增加了生活垃圾专章；成都、德阳、雅安等市已制定生活垃圾管理地方性法规、规章，自贡、内江、泸州、绵阳等市已纳入立法计划。

（五）持续推进农业固废处理处置

推进畜禽粪污资源化利用方面，印发《四川省畜禽养殖污染防治规划》，作为“十四五”时期全省畜禽养殖污染防治工作指导性文件；在全省63个畜牧大县和22个非畜牧大县，实施畜禽粪污资源化利用整县推进项目；大力推进“以种定养、以养定种，就地消纳、种养循环”，2022年全省畜禽粪污综合利用率达78%、规模养殖场粪污处理设施装备配套率达99%。推进秸秆农膜回收利用方面，出台《关于加强农用薄膜科学使用和回收利用的指导意见》《农用薄膜科学使用和回收工作要点》，2022年全省废旧农膜回收利用率84%以上；通过推进秸秆综合利用重点县建设，带动全省秸秆综合利用水平的整体提升，初步形成“农用为主、多元利用、产业增效”的秸秆收储运和还田离田利用新格局，2022年四川省秸秆综合利用率达到92.8%，高于全国平均水平，秸秆综合利用量超过2800万吨，全省秸秆利用

市场主体为 2800 余家。推进农药包装废弃物回收处置方面，出台《关于加强农药包装废弃物回收处置工作的意见》，按照“属地管理、分级负责、部门协同”原则，探索构建“市场主体回收、专业机构处置、公共财政扶持”的回收和集中处置机制，全省已建农药包装废弃物回收点 5 万余个。

（六）全面实施塑料污染治理

印发《四川省进一步加强塑料污染治理实施办法》，提出全链条和全生命周期管控要求，从推进源头减量、规范回收利用、提升处置水平等方面明确了全省“十四五”塑料污染治理工作。印发《关于建立四川省塑料污染治理专项工作机制的通知》，明确 19 个成员单位工作职责，细化形成 95 条责任清单，建立了协调联动、定期总结和及时报告等工作机制。聚焦塑料制品禁产、禁售、回收、处置等工作，通过限制商贸流通领域塑料使用、推进邮政快递包装绿色治理、强化塑料替代品研发和推广使用等措施，全面推动禁限政策落地落实。

四、全省固体废物污染防治能力建设情况

（一）“无废城市”建设工作

1.推动川渝共建情况

2022 年 6 月，川渝两地政府联合出台了《关于推进成渝地区双城经济圈“无废城市”共建的指导意见》，将重庆市全域和四川省成都等 15 个市“无废城市”纳入共建范畴，从工业、农业、生活、建筑等四大领域、五大体系、十项任务开展共建。

截至目前，为推动“无废城市”共建两地联合出台了《成渝地区

双城经济圈“无废城市”共建机制》《川渝“无废城市细胞”建设评估指南》《成渝地区双城经济圈“无废城市”共建 2023 年工作要点》《关于公布成渝地区双城经济圈“无废城市”共建联合指导组名单(第一批)的通知》《推进川渝生态环境大数据协同共享应用合作协议》《成渝地区公共机构生活垃圾分类和资源循环利用示范工作实施方案》等系列政策文件；率先建立危险废物跨省转移“白名单”制度，积极服务经济社会发展；联合开展了“无废城市 川渝共建”六五环境日宣传活动，征集评选出“同饮一江水，无废川渝美”作为川渝两地“无废城市”共建宣传标语以及 Logo，如图所示；川渝地区志愿服务组织联合发起“助力成渝地区双城经济圈‘无废城市’建设”倡议，推动川渝两地“无废城市”共建全民行动体系。



图 1-1 “无废城市 川渝共建”主题宣传 Logo

此外，川渝各地还相互开展了深度交流合作。自贡市与重庆市北碚区签订了《生态共保污染共治协同发展合作协议》，决定就共建“无废城市”、执法交流学习等重点工作进行深度合作。广安市与重庆市长寿区签订了《跨区域固体废物应急处置、利用信息资源共享及应急

联处合作协议》，建立联席会议机制、资源信息共享机制、固体废物污染事件联处机制。宜宾市与重庆市北碚区、泸州市与重庆市荣昌区、遂宁市与重庆市潼南区也都开展了“无废城市”建设交流等活动。

2.四川省建设情况

自 2022 年 4 月四川省成都市、自贡市、泸州市、德阳市、绵阳市、乐山市、眉山市、宜宾市 8 个城市入选国家“十四五”时期“无废城市”建设名单以来，四川省紧紧围绕“无废城市”建设工作目标和重点任务，有力有序推动了“无废城市”建设工作。

2.1 成都市

2022 年 12 月《成都市“无废城市”建设实施方案》出台，提出了全域整体推进工作思路，构建了工业、生活、农业、其他领域共 47 个指标体系。

目前，成都市已出台《关于深入贯彻落实习近平总书记来川视察重要指示精神加快建设美丽宜居公园城市的决定》《成都市生活垃圾管理条例》《成都市废旧物资循环利用体系建设实施方案》《成都市废旧物资循环利用体系建设实施方案》等 15 个政策指导文件，印发《生活垃圾分类处理规范》（DB5101/T 73-2020）、《成都市生活垃圾分类采样和检测方法》（DB5101/T 78-2020）、《成都市有害垃圾暂存设施设置标准》《成都市农村厨余垃圾堆肥设施建设标准》《成都市大件垃圾拆解设施建设标准》《成都市厨余垃圾分布式处理设施建设标准》6 部地方标准规范，“无废城市”建设政策支撑不断完善。

工业领域，全市现有工业危险废物利用处置经营单位 34 家，利

用处置能力达到 87.633 万吨/年，满足全市危废处置需求。

生活领域，建成标准化垃圾分类投放点约 3.4 万个、社区回收站点 2400 个，设置智能回收设施 2290 组，实现全市 1.8 万余个居民小区分类投放设施 100%全覆盖，有害垃圾暂存点 28 个、处置设施 2 个，可回收物分拣设施 33 个，分类处置系统基本建成；全市现有 9 座生活垃圾焚烧发电厂，日处置能力 1.58 万吨，基本实现原生生活垃圾零填埋；建成厨余垃圾集中处理设施 4 个、就地处理设施 50 余个、社会项目 23 个，厨余垃圾综合处置能力达 2600 吨/日；建成的生活污水处理处置项目 12 个，总规模 3400 吨/日。

建筑领域，建成 11 座建筑垃圾资源化利用设施，利用处置能力 990 万吨/年，资源化利用率 55%。

此外，还加快构建无废工厂、学校、医院、社区、商场、公交、景点、茶园、果园、再生资源社区回收站、再生资源分拣中心和垃圾分类细胞工程建设指南和评价体系，推动无废细胞工程显度。2023 年以成都大运会为契机，开展无废酒店、场馆、工厂、学校、医院等细胞工程 361 个示范点位建设，以推动成都大运会绿色低碳无废行动。

2.2 自贡市

2023 年 2 月 14 日《自贡市“无废城市”建设实施方案》印发，制定了 7 大重点任务和 49 项建设指标，部署 57 项细化任务，引领“无废城市”高标准建设。

工业领域，积极推动绿色制造示范体系建设和低碳化、循环化改造，印发《自贡市重点领域企业节能降碳技术改造实施方案》，完成

8 户企业省级绿色工厂创建，2 户企业通过省级绿色工厂低碳化、循环化改造试点评审；四川某制盐有限责任公司完成燃煤锅炉“煤改电”项目，减少燃煤使用量约 14.13 万吨标煤，减排固体废弃物约 4.24 万吨，减排二氧化碳约 34.71 万吨。

危险废物处置和监管能力持续提升，水泥窑协同处置危险废物能力达 7 万吨/年，完成新建 2.17 万吨/年工业危险废物集中处置项目、10 万吨/年油基岩屑利用项目和 3 万吨/年废矿物油利用项目，危险废物年利用处置能力提升至 22 万吨/年。印发《关于开展铅蓄电池销售流通领域废铅蓄电池规范管理整治工作的通知》，各类危险废物监管制度逐步完善。

农业领域，农业废弃物资源化利用水平稳定提高，印发《自贡市 2023 年秸秆综合利用实施方案》，打造“五化”利用示范样板，秸秆综合利用率稳定在 90%，规模养殖场粪污处理设施装备配套率 99.86%，畜禽粪污综合利用率 91.9%。

生活领域，自贡市于 2020 年在全省率先实现原生生活垃圾“全焚烧、零填埋”。此外，出台了《自贡市餐厨垃圾管理办法》《自贡市生活垃圾分类四级常态化联动工作制度》等制度，提档升级生活垃圾分类收集点 1000 余个，城区居民小区生活垃圾分类投放设施覆盖率达 100%。

2.3 泸州市

2023 年 3 月 29 日，《泸州市“无废城市”建设试点实施方案》印发，重点实施“六个一”工程、五个无废细胞和“两小一共享”。

工业领域，完成了永丰纸业白泥建材利用项目、水泥窑协同处置 15 万吨/年一般固废项目、古叙生活垃圾焚烧发电掺烧一般可燃固体废物项目，正在开展泸州老窖“无废工厂”建设。

此外，泸州市现有危险废物集中处置中心 1 家，处置能力 4.2 万吨/年；医疗废物处置中心 2 家，处置能力 1.18 万吨/年；废铅蓄电池集中收集规模 3 万吨/年。

农业领域，印发了《泸州市畜禽养殖污染防治规划(2021—2025)》《泸州市秸秆农业循环利用指导方案（2022—2025 年）》，建有畜禽粪污资源化利用处理中心，可年处理 20 万吨畜禽粪污、15 万吨秸秆、15 万吨酒糟，年产有机肥 15 万吨。

生活领域，泸州市出台了《泸州市生活垃圾分类管理条例》《有害垃圾分类名录》，目前完成生活垃圾小区分类投放点升级改造点位 6148 个，建成可回收物回收网点 300 余个，分拣中心 4 个，生活垃圾回收利用率保持 35%以上。建成泸州市城市厨余垃圾处理厂，厨余垃圾处理能力达 300 吨/日；建成处理其他垃圾的压缩中转站 6 个和垃圾焚烧发电厂 2 个，处理能力 2100 吨/日，实现原生生活垃圾“全焚烧、零填埋”。

2.4 德阳市

2022 年全省首个市（州）印发的固体废物专项规划《德阳市固体废物污染防治规划（2021-2030 年）》出台。2023 年 4 月《德阳市“无废城市”建设实施方案》印发，设置了 44 个指标，包括 25 个必选指标、17 个可选指标及磷石膏、电石渣综合利用率 2 个德阳市特

色指标。

工业领域，德阳是全国重要磷矿生产基地和磷化工基地，在磷石膏综合治理中，从严管控磷石膏产生环节，已全面停止新增磷石膏企业审批；实施磷石膏堆场“1+20”治理工程，堆场周边土壤、水的含磷量大幅下降，沱江德阳出境断面水质长期稳定达到Ⅲ类；持续提升磷石膏综合利用率，历史堆存量不断削减，其中有两座堆场已全部综合利用。2022年，全市产出磷石膏330.15万吨，利用磷石膏380.93万吨，利用率115.38%，连续五年实现“产消平衡”，综合利用率居全国前列，成功入选国家级工业资源综合利用基地。危险废物方面，全市建成危险废物经营单位19家，形成了以水泥窑协同处置危险废物为主，集废矿物油、废铅蓄电池、废催化剂、废有机溶剂等危废收集利用处置的产业集群，危险废物处理能力达到43.8万吨，经营类别覆盖32大类，基本满足全市危险废物处置需求。

农业领域，全市秸秆综合利用率在95%左右，废旧农膜回收利用率保持在85%以上，畜禽粪污资源化利用率达95%以上，农村生活垃圾处理率达100%。

生活领域，已建成投运德阳市和新环保生活垃圾焚烧发电厂、绵竹光大生活垃圾焚烧发电厂、德阳市餐厨垃圾及市政污泥处理一期项目、中江县生活垃圾填埋场，生活垃圾无害化处理率100%。目前，正在新建、扩建3个生活垃圾发电项目，建成后处置能力将达到2950吨/天，2023年底将实现原生垃圾“零填埋”。城市生活污水方面，全市城市生活污水处理厂年产生污泥9.1万吨左右，主要处置方式为

土地利用和建筑材料综合利用，建成规模污泥处理单位 5 家，处理率为 100%。

2.5 绵阳市

2022 年 11 月 6 日《绵阳市“无废城市”建设实施方案》印发，随后又相继出台了《绵阳市“无废细胞”建设工作方案》《绵阳市“十四五”时期“无废城市”建设一般工业固体废物专项工作方案》《绵阳市“无废城市”建设危险废物专项工作方案》，以及 9 类“无废细胞”建设评估指南、各行业“无废细胞”建设工作方案，形成了“1+N+X”建设体系（1 个实施方案+N 个工作方案+X 个“无废细胞”建设体系）。以“1+N+X”工作体系为引领，开展“无废城市”数字化平台建设，全力建设精品“无废细胞”，已建成“无废医院”“无废校园”“无废工地”等 26 个。

工业领域，建成水泥窑协同处置一般工业固废项目 2 个，协同处置能力 11.5 万吨/年；建成磷石膏污染防治及综合利用研究实验基地，通过生产磷石膏粉、水泥缓凝剂等利用产品实现年消纳磷石膏 85 万吨的能力。危险废物方面，建成 2 个危险废物集中处置规划项目，危险废物焚烧处置达 2.7 万吨/年，危险废物柔性填埋 1.5 万吨/年、刚性填埋 1.5 万吨/年，水泥窑协同处置能力 99880 吨/年。

农业领域，秸秆综合利用市场运行机制已初步形成，2022 年全市秸秆综合利用率达到 96.89%；全市畜禽粪污资源化利用率达到 96.68%，规模养殖场粪污处理设施装备配套率达到 100%；全市建有绿色防控示范区 45 个，示范区农药使用量减少 30%以上，2022 年全

市绿色防控覆盖率 51.2%，统防统治覆盖率 47.5%；建有农药包装废弃物回收站（点）3789 个，回收率达 81.93%。

生活领域，生活垃圾分类投放后采用各不同类别垃圾专用车分别转运模式，2023 年 4 月起已开启厨余垃圾公交化收运模式；各区（园区）共计规范建设生活垃圾中转站 25 个，每日共计转运生活垃圾 1600 余吨，均实现焚烧处置；2023 年绵阳城区居住小区、公共机构、示范区投放设施已基本实现设施规范设置全覆盖；建成 2 个生活垃圾焚烧发电设施，焚烧能力 2500 吨/日。

2.6 乐山市

2022 年 2 月 19 日《乐山市“无废城市”建设实施方案》印发，提出建设“无废嘉州·清洁双遗”的总目标，“4+N”固体废物综合利用处置体系总布局。随后制定了《乐山市“无废城市”建设重点项目管理辦法》，目前全市共入库重点项目 40 个，预估总投资 27.1 亿元。召开首个“无废城市”项目暨融资推介会，共达成 10 项“无废城市”建设领域合作签约，生态环境领域银行承诺融资额度已累计达到 220 亿元。印发《乐山市“无废细胞”建设指南（试行）》，制定了第一批 10 个领域“无废细胞”建设指南。

乐山市已初步形成了以乐山市资源循环利用基地、五通桥循环产业基地、峨眉山水泥产业协同利用处置基地、犍为县危险废物利用处置基地“四大基地”组成的固废集中处置和资源化利用布局，利用处置设施和装备服务范围涵盖了大宗工业固废、农业固废、生活固废、建筑垃圾、再生资源和危险废物等多个领域。

工业领域，五通桥循环产业基地依托“氯碱化工—PVC—太阳能光伏—水泥窑固废协同处置”等循环产业链，解决了电石渣、废盐、四氯化硅等大宗固废综合利用问题，初步形成了较完整的工业固体废物循环资源化利用体系。峨眉山水泥产业协同利用处置基地依托大规模水泥产能，进一步打通产消链条，大宗工业固废消纳能力不断增强，为上游产废企业可持续发展奠定了基础。犍为危险废物处置利用基地依托4万吨/年危险废物集中处置项目、10万吨/年油基岩屑综合利用项目，填补了乐山市危废利用处置能力空白，解决了乐山大规模页岩气开发的固废处置难题，某公司的“页岩气油基岩屑资源化综合利用技术与配套装备”已作为先进固体废物污染防治技术推荐至生态环境部。

生活等其他领域，位于中心城区的乐山市资源循环利用基地，已配套建成能满足全市需求的生活垃圾焚烧发电、餐厨废弃物资源化利用、医疗废物处置、病死畜禽集中无害化处置、生活垃圾焚烧炉渣利用和飞灰填埋项目，建筑垃圾综合利用等一批重点项目前期工作进展顺利。基地生活垃圾发电焚烧处置能力达2000吨/日，生活污水水泥窑协同处置能力达140吨/日，全市生活垃圾基本实现“零填埋”，生活污水全部实现规范处置。

2.7 眉山市

2023年1月31日，《眉山市“无废城市”建设实施方案》印发。随后还制定了《眉山市“无废细胞”评价指南》，推动学校、医院、工厂、园区等多领域“无废细胞”建设，2023年计划启动创建“无

废细胞” 30 个以上。

工业领域，制定了《眉山市“无废城市”建设一般工业固体废物专项实施方案》，指导全市工业企业开展“无废工厂”和“无废园区”建设工作。目前，已累计培育和创建国家级绿色工厂 7 户、国家级绿色设计产品 14 种、省级绿色工厂 46 户、市级绿色工厂 64 户。此外，通过推进四川某公司 300 吨/天烟气余热低温污泥干化项目、某公司大修渣 4500 吨/年无害化资源综合利用项目、四川某公司 4 万吨/年铝灰资源综合利用项目、某公司 53 万吨/年钙芒硝尾矿综合利用项目等资源综合利用试点示范工程，鼓励重点企业开展技术改造、促进固废综合利用。

农业领域，建成仁寿县有机废弃物资源化综合利用项目和某农业公司年处理秸秆 1 万余吨资源化再利用生产有机肥项目，全市秸秆综合利用率达 93.93%；畜禽粪污综合利用率达 94.2%；病死畜禽集中无害化处理率达 100%。截至目前，绿色食品认证 195 个，认定畜禽养殖标准化示范场数量 9 个，农膜回收率达 87.8%；全市 7 个县（区）均要求农药经销商建立了农药包装废弃物智慧平台，正在试运行中。

生活领域，眉山市建成 2 个生活垃圾焚烧发电厂，年焚烧处理生活垃圾 74.28 万吨，年发电量 2.8 亿千瓦时，相当于节约标准煤 3.43 万吨，减排二氧化碳 14.28 万吨。建成 2 个餐厨垃圾资源化利用项目，年处理餐厨垃圾约 10 万吨，年生产工业用粗油脂 0.34 万吨。同时，将生活垃圾资源化利用融入“无废小区”建设，建设 7 座“零碳驿站”，2021 年 12 月至今，回收各类可回收物 6.8 吨，相当于减排二氧化碳

81.64 吨、节约树木 705 棵。截至 2023 年 6 月底，全市生活垃圾无害化处理率达到 100%，资源化利用率达 85.74%，回收利用率达到 35% 以上。

建筑领域，扎实开展装配式建筑的推广运用，助推“无废工地”建设，已建成钢结构部品部件生产基地 1 家，年生产能力 15 万吨、装配式 PC 构件 20 万立方米。建有全省首个集建筑垃圾、装修垃圾、大件垃圾和工业垃圾全产业链的“无废城市产业园”和“绿色建材产业园”。年处理大件垃圾 1 万吨、建筑垃圾 150 万吨，年产再生商品混凝土 100 万方、水稳料 25 万吨、预拌流态固化土 15 万吨、精品砂石骨料 250 万吨、沥青混凝土 35 万方。

2.8 宜宾市

2023 年 1 月 20 日，《宜宾市“无废城市”建设实施方案》印发。随后又印发了《宜宾市 2023 年“无废城市”建设工作要点》，制定了《宜宾市“无废细胞”建设工作方案》。

工业领域，聚焦动力电池、晶硅光伏等重点行业，优化产业布局，实施工业园区循环化改造，推动全产业链减废，预计 2025 年全市循环化改造园区占比达到 100%。着力推进产业结构绿色转型发展，宜宾临港经济技术开发区列为四川省绿色低碳优势产业重点园区，目前全市成功创建零碳工厂 3 户、国家级工业产品绿色设计示范企业 3 户、国家级绿色工厂 12 户、国家级绿色设计产品 31 个、省级绿色工厂 24 户。

农业领域，实施示范引领建设，推进畜禽粪污资源化利用，实施

畜禽粪肥就近还田利用，全市畜禽粪污资源化利用率达 83%以上，规模养殖场粪污处理设施配套率达到 100%。推进秸秆综合利用，健全秸秆收储运体系，累计建成 23 个秸秆收储中心、63 个秸秆收储点，全市秸秆综合利用量 197.64 万吨，利用率达到 92.3%。着力建立农膜回收体系，提升回收水平，2022 年，全市建立农膜回收网点 536 个，全市废旧农膜回收 5925.7 吨，回收率达到 84%以上。

生活领域，推动“以竹代塑”工作，助力形成绿色低碳生活方式，建设兴文经开区竹产业园，建立“创新竹日用品交易中心”，同步配套“创新竹日用品网上商城”，竹制品超过 10000 种。积极推动垃圾分类立法，印发《宜宾市生活垃圾分类管理办法》；完成了 82 个生活垃圾分类试点小区建设工作，生活垃圾分类投放点升级改造 1441 个，建设可回收网点约 383 个，2022 年中心城区生活垃圾可回收利用率超过 35%。积极推进市政污泥源头减量和资源化利用，推广协同处置，建有水泥窑协同焚烧处置设施 2 座，处置能力 450 吨/天，城镇生活污水处理厂污泥基本实现 100%无害化、资源化利用。

其他领域，积极谋划重点支撑项目，强化项目引领，计划年处理 55 万吨建筑垃圾综合利用项目、年拆解规模 3 万辆报废机动车拆解项目、废动力电池回收利用等 31 个项目建设，推动项目入园，加快推进资源循环利用基地建设。

（二）循环经济园区建设

1.资源循环利用基地

资源循环利用基地是对废钢铁、废有色金属、废旧轮胎、建筑垃

圾、餐厨废弃物、园林废弃物、废旧纺织品、废塑料、废润滑油、废纸、快递包装物、废玻璃、生活垃圾、城市污泥等城市废弃物进行分类利用和集中处置的场所。根据国家《关于推进资源循环利用基地建设的指导意见》（发改办环资〔2017〕1778号）和《关于推进资源循环利用基地建设的通知》（发改办环资〔2018〕0502号）文件要求，目前四川省建设有4个国家级资源循环利用基地，以及5个省级资源循环利用基地，如表1-9所示。

表1-9 四川省资源循环利用基地

序号	级别	地区	基地名称
1	国家级	成都市	成都市长安静脉产业园资源循环利用基地
2		绵阳市	绵阳中科绵投资源循环利用基地
3		南充市	南充是嘉陵区资源循环利用基地
4		宜宾市	四川宜宾资源循环利用基地
5	省级	乐山市	乐山市资源循环利用基地
6		自贡市	自贡市循环经济产业园
7		德阳市	德阳城市废弃物资源循环利用基地
8		泸州市	泸州市资源循环利用产业园区
9		遂宁市	遂宁市船山区资源循环利用产业园区

2.工业资源综合利用基地

工业资源综合利用基地，主要以利用工业生产过程中产生的粉煤灰、冶金渣、赤泥、化工渣、工业副产石膏以及新能源汽车动力电池等再生资源类工业固体废弃物为主。为贯彻落实《国家发展改革委办公厅 工业和信息化部办公厅关于推进大宗固体废弃物综合利用产业集聚发展的通知》（发改办环资〔2019〕44号）精神，四川省积极开展工业资源综合利用基地建设。

目前四川省有3个国家级工业资源综合利用基地，分别位于攀枝花市、德阳市和凉山州。此外，四川省还确定了四川石汉工业园区等

6 个园区和都江堰某水泥有限公司等 26 户企业为第一批省工业资源综合利用基地（园区）、企业，确定了西昌钒钛产业园区等 7 个园区、汉源某科技有限公司等 11 户企业为第二批创建四川省工业资源综合利用基地（园区、企业）名单。

3.大宗固体废弃物综合利用示范基地

大宗固体废弃物综合利用基地，主要以利用各类产业在生产、流通及使用过程中产生的大宗固体废弃物为主。

目前四川省建有 3 个国家级大宗固体废弃物综合利用示范基地，分别为石棉县、攀枝花市（东区、钒钛高新区）以及雅安市（汉源工业园区、荣经县）。攀枝花某集团有限公司和攀枝花市某建材有限公司入选为国家 2021 年大宗固体废弃物综合利用骨干企业。

（三）创新平台建设情况

近年来，四川省实施高能级创新平台牵引行动，落地建设了一批高质量的国家级、省级重点实验室、工程技术（研究）中心，涉及固体废物污染防治领域主要的国家级、省级平台共计 24 个详见表 1-10，主要批建单位有国家科学技术部、教育部、四川省人民政府、四川省科学技术厅、四川省生态环境厅、四川省发展和改革委员会等，其中由国家科学技术部批建的 5 个、国家市场监督管理总局批建的 1 个、教育部批建的 1 个、四川省人民政府批建的 1 个、四川省科学技术厅批建的 11 个、四川省生态环境厅批建的 2 个、四川省发展和改革委员会批建的 3 个。各平台自建设以来，相关依托单位认真按照要求，加强能力建设和科技开发，促进了四川省固体废物污染防治工作的开

展，推动更多创新成果走出实验室、实现产业化应用，为环境质量改善和生态环境保护提供了有力支撑。

表 1-10 主要的国家级、省级重点实验室、工程技术（研究）中心

序号	名称	依托单位	简介	批建单位
1	钒钛资源综合利用国家重点实验室	攀钢集团有限公司	该实验室以所处的中国最大的钛原料和钒制品生产基地为背景，面向国家钒钛资源综合利用发展的战略需求，瞄准本领域国际前沿的关键科学技术问题，以钒钛资源综合利用及其产业链延伸为主线，围绕钒钛磁铁矿高效采选、钒钛磁铁矿冶金分离、钒钛产品的开发与应用、钒钛磁铁矿综合利用过程的三废治理与节能减排、钒钛产品技术标准等五个方向开展相关应用基础研究、关键共性技术研究、工程化技术装备开发。	国家科学技术部
2	高分子材料工程国家重点实验室	四川大学	1991 年建立，在高分子材料应用基础研究和工程化方面有鲜明特色，拥有一支朝气蓬勃、结构合理的高水平科研队伍，承担国家重要科研任务，取得显著科研成果，并在高层次人才培养方面取得卓越成绩，开展了卓有成效的对外交流与合作，现已成为我国高分子材料科学与工程领域规模最大的科研和教学基地之一。	国家科学技术部
3	省部共建环境友好能源材料国家重点实验室	西南科技大学	环境友好能源材料国家重点实验室始建于 2003 年的先进建筑材料四川省重点实验室，历经 15 年发展与建设，2018 年 5 月被批准为省部共建国家重点实验室，依托西南科技大学运行与管理。近年来，实验室承担科研项目 500 余项，其中承担国家重点研发计划、国家自然科学基金、军科委 173 专项、国防科工局重大专项等国家级项目 120 余项，累计科研经费 3.46 亿余元。实验室围绕建材行业、核工业、国防军工可持续发展中的材料基础理论与关键技术开展聚变裂变能利用的关键材料、核废物处理处置与辐射安全材料、能量的存储和转换机制、高效节能材料四个方向的科学研究和技术开发。	国家科学技术部 四川省人民政府
4	油气藏地质及开发工程全国重点实验室	成都理工大学、西南石油大学	实验室致力于研究和发展一整套适用于复杂油气藏综合评价研究的新理论、新方法和新技术，并运用这些理论、方法和技术，开辟新的勘探领域，增加我国油气资源的后备储量，提高可采储量和油气产量。实验室以培养石油地质与勘探学科高层次专门人才为主，具有连续培养能参与国际竞争的博士后、博士、硕士级专门人才的能力，已成为我国培养油气藏地质及开发工程高层次人才的重要基地之一。实验室按照“联合、流动、开	国家科学技术部

序号	名称	依托单位	简介	建设单位
			放、特色、竞争”的方针，已形成联合实体和向国内外开放，同时与国内外机构和组织进行了广泛的交流，已成为我国油气藏地质及开发工程的学术交流中心之一。	
5	国家固态酿造工程技术研究中心	泸州老窖股份有限公司	国家固态酿造工程技术研究中心于 2009 年 12 月获科技部批准,依托泸州老窖股份有限公司组建,是目前国内固态酿造行业唯一、专门从事工程技术与开发的国家科技创新平台。中心于 2014 年 1 月顺利通过科技部验收,2016 年 3 月获批为第二批国家科技服务业行业试点单位,是全国 40 家试点单位之一。中心重点围绕固态酿造行业的关键、共性技术问题,开展固态酿造生产过程的标准化技术、优势菌群共培技术的应用、固态酿造过程的检测技术及发酵过程优化技术、生产智能化控制技术、废弃物资源化利用技术的研发等开发及应用研究,为固态酿造行业提供和推广高效、实用、易于转化的工程技术成果,不断推动相关技术成果的工程化应用,为白酒、酱油、食醋、泡菜等固态酿造行业提供便捷的科技资源共享平台。	国家科学技术部
6	国家市场监管重点实验室(白酒监管技术)	四川省食品检验研究院	目前,重点实验室围绕白酒危险物控制、新风险挖掘识别、标准研究等方面引进培养专业技术人才 100 余人,投入专项经费 3500 余万元,新增实验室面积 3700 平米,开发建立了白酒监管技术资源信息共享平台。实验室将立足于食品科学前沿,充分发挥科研技术优势,推动多学科交叉融合协同创新,开展白酒前瞻性关键技术研究,建立白酒信息资源共享数据库,打造“产学研检”一体化综合服务平台,为白酒监管提供全方位技术支撑,积极服务产业和企业的发展,助推中国白酒产业高质量发展。	国家市场监督管理总局
7	固体废物处理与资源化教育部重点实验室	西南科技大学、中国工程物理研究院环保中心	以“创新和产业化”为指导思想,以固体废物处理与资源化的基础理论、工艺技术与应用开发研究为主旨,以建成西部高水平的、特色鲜明的固体废物处理与资源化理论与技术的研究基地、人才培养基地和产学研基地为战略目标,为国家西部大开发和绵阳科技城市建设等战略服务。主要学术方向为:尾矿处理与综合利用、工业废物处理与资源化和电子废物处理与资源化。主要研究内容为:研究尾矿在不同物理状态下和酸碱介质中的物理与化学工程特性,开发在分散体系和酸碱介质复杂多相体系中不同组分的物理和化学分	教育部

序号	名称	依托单位	简介	建设单位
			离、溶解、沉淀等提纯技术，制定多种尾矿资源化综合利用评价指标，初步建立非金属矿尾矿综合利用评价体系；研究高效节能的固体废物资源化基础理论与工艺技术，解决废物资源化产品性能与生产成本之间的矛盾。	
8	天府永兴实验室	四川大学、西南石油大学、成都理工大学、四川农业大学	天府永兴实验室是开展绿色低碳领域关键核心技术研究的核心平台，承担着解决碳中和领域“卡脖子”问题的重要职责。实验室聚焦零碳能源、资源碳中和、地热及固碳三大研究方向，布局零碳能源系统、高分子碳中和、地热资源开发等八个前沿研究中心，赋能清洁能源、环保装备、绿色建材三大产业赛道。实验室集智攻关，科学布局清洁低碳能源、资源碳中和、碳捕集与利用、碳汇与地质固碳、减污降碳协同、碳中和集成耦合六大研究领域，解决碳中和领域的“卡脖子”难题。实验室将持续深入探索新型举国体制，通过“核心+基地+网络”的运行模式，打通“基础研究—技术研发—产业转化”创新全链条，促进绿色低碳产业集群式发展，为我国实现碳中和战略书写四川答卷、打造四川样本，为应对全球气候变化输出中国方案、贡献中国力量。	四川省人民政府
9	油气田应用化学四川省重点实验室	西南石油大学、中国石油集团川庆钻探工程有限公司	该实验室依托西南石油大学，由中国石油集团川庆钻探工程有限公司协作共建。实验室面向国内外开放，该重点实验室主要从事于油气田勘探开发中的化学处理剂、化学工作液、环境污染治理的研究。实验室主要形成三个研究方向，构成一个完整的油气田应化化学研究系统。主要研究方向为：油气田化学处理剂、油气田化学工作液、油气开采化学污染控制与治理。实验室按照开放、联合、流动、竞争的原则，积极服务于地方经济建设，经过多年建设，建筑面积达 2840 平方米，拥有价值达 3000 多万元的各种先进仪器设备。在科学研究方面，近几年实验室围绕油气田勘探开发中的问题开展了大量研究，申请和获得专利 20 项，发表论文 200 余篇，其中 SCI、EI 等收录 60 余篇，获得省级科技进步奖 2 项。	四川省科学技术厅
10	酿酒生物技术及应用四川省重点实验室	四川理工学院、泸州老窖股份有限公司、四川省食品发	酿酒生物技术及应用四川省重点实验室是在四川理工学院省级重点建设学科——发酵工程学科的基础上，由四川理工学院、泸州老窖股份有限公司和四川省食品发酵工业研究设计院联合共建面向省内外开放的重点实验室。该重点实验室现有固定研究人员 43 人，其中教授 6 人，副教授 9	四川省科学技术厅

序号	名称	依托单位	简介	建设单位
		醇工业设计院	人，高级工程师 12 人，博士 5 人，硕士 18 人，国家级白酒评委 4 人，省级白酒评委 19 人。建筑面积达 3000 平方米，拥有先进的酿造、分析和检测等仪器设备设施，总值 2000 多万元，其中国际一流设备 30 余台，价值达 1000 多万元。实验室招收发酵工程方向硕士研究生，设有博士后工作站，支撑和培养高层次酿酒科技人才。酿酒重点实验室主要从事酿酒微生物生态学、微生物发酵机理、发酵工艺、副产物综合开发和酒与人体健康关系等的研究及其应用。	
11	固态发酵资源利用四川省重点实验室	宜宾五粮液股份有限公司、宜宾学院	实验室围绕白酒、调味品、腌渍蔬菜、生物饲料、生物肥料等固态发酵产业，开展微生物资源开发利用、微生物代谢物开发利用、发酵机理解析与技术创新、废弃物资源化利用、机械设备设计与创新等研究，取得了较好进展，多项成果转化应用。按照“开放、流动、竞争、联合”运行机制，实验室切实做好研究平台开放、人才培养和服务社会等工作，先后接收四川大学、西南大学、云南大学、贵州大学等高校和五粮液、叙府酒业、南溪酒业、思坡醋业等企业的研究人员来室开展合作研究，为 30 余家企业和政府部门提供人才培养、技术咨询等服务，接收宜宾学院生物工程、食品科学与工程、食品质量与安全等专业 1000 余名本科生开展科研试验，有力地支撑了创新型应用人才培养，促进了学生高质量就业。	四川省科学技术厅
12	钒钛资源综合利用四川省重点实验室	攀枝花学院	“钒钛资源综合利用四川省重点实验室”是依托攀枝花学院于 2007 年 1 月由四川省科技厅正式批准成立。2018 年 1 月，由于依托单位攀枝花学院机构调整，原重点实验室进行了资源整合，依托单位将攀枝花学院钒钛学院科研实验室、钒钛检测重点实验室等几个部门的科研实验室与原重点实验室进行整合，目前实验室面积达 3300 平米，拥有 SEM、XRD、热模拟试验机等实验设备共 200 余台套，固定研究人员 20 人，兼职研究人员 70 余人。重点实验室的方向为：“钒钛磁铁矿综合利用新流程工艺基础研究，钛材料制备新技术基础研究和应用基础研究，钒材料研究，钒钛特殊功能材料研究”。	四川省科学技术厅
13	锂资源与锂材料四川省重点实验室	天齐锂业股份有限公司	实验室以提高我国锂资源开发和综合利用水平、锂材料制备技术为目标，以解决锂资源和锂材料应用中存在的关键问题为出发点和落脚点，围绕国内外锂相关产业链发展需求，就锂资源开发和	四川省科学技术厅

序号	名称	依托单位	简介	建设单位
			综合利用、锂材料制备共性基础理论和关键技术展开深入研究。强力推进科技含量高、市场前景广、带动作用强的项目落地，助推我国锂行业及区域产业链经济的蓬勃发展。实验室研究方向为：锂资源综合利用、锂资源应用基础研究、锂材料智能制造技术。实验室拥有一支学历结构合理、实践经验丰富的高水平科研队伍，现有固定人员38人和客座专家10人，其中博士13人、硕士14人。实验室现有建筑面积3900余平米，配备有行业内领先的科研仪器设备215台/套，总价值6000余万元，拥有电感耦合等离子发射光谱仪、火焰原子吸收光谱仪、高分辨扫描电子显微镜、高精度电化学综合测试系统、金相显微镜等材料微结构表征与宏观性能测试仪器设备。	
14	页岩气评价与开采四川省重点实验室	中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司、四川省煤田地质局	页岩气评价与开采四川省重点实验室自成立以来，坚持聚焦页岩气评价与开采关键领域生产、科研需求，扎实开展基础研究和关键技术研究，在页岩气地质综合评价技术、实验测试技术、清洁高效开发技术等方面取得众多关键核心技术创新。近年来，该实验室承担并完成省部级科研项目5项、企业级科研项目13项，获专利授权50件（含发明专利8件），参与国家行业标准编制12项，获省部级以上奖励5项，开展页岩气井现场技术服务超150井次、分析实验化验超20万样次。完成的“页岩气资源评价关键参数实验测试技术创新及应用”项目，获得首届四川省地质科学技术奖一等奖；研发的“一种页岩含气量测试技术及配套设备”，成功入选自然资源部《矿产资源节约和综合利用先进适用技术目录（2022年版）》。页岩气评价与开采四川省重点实验室成立10年以来，形成了能源资源评价等系列关键核心技术，为四川、重庆等20余省市页岩气重点区块勘探开发提供了坚实的技术支撑，有力助推了国家天然气（页岩气）千亿立方米级产能基地和国家清洁能源示范省建设工作。	四川省科学技术厅
15	稀有稀土战略资源评价与利用四川省重点实验室	四川省地质矿产勘查开发局成都综合岩矿测试中心、四川省地	该重点实验室以四川省地矿局所属的成都综合岩矿测试中心和四川省地质调查院为依托，将重点围绕新能源汽车、航空与燃机等高端成长型产业对稀有、稀土等战略资源的需求，针对攀西战略资源创新开发试验区、甘孜、阿坝等地特色优势稀有金属、稀土资源开发利用中存在的科技问题，开展成矿作用与勘察评价及资源综合利用、	四川省科学技术厅

序号	名称	依托单位	简介	建设单位
		质调查院	评价与修复等方面的应用基础研究。	
16	四川省高钛型高炉渣工程技术研究中心	攀枝花环业冶金渣开发有限公司	该中心下设研究室和检测室，主要从事高钛型高炉渣的综合利用研究及产品开发、工程设计、产品应用技术服务等工作。自组建以来，中心先后与攀枝花钢铁研究院、昆明理工大学、东北大学、武汉科技大学联合开展了“高钛型高炉渣钛的选择性析出分离技术研究开发”“高钛型高炉渣还原提钛技术研究”等4项产学研联盟合作项目，其中“高钛型高炉渣还原提钛技术研究”已经进入工程化技术研究阶段。	四川省科学技术厅
17	四川省餐厨垃圾资源化利用工程技术研究中心	四川琳宸生物能源科技有限公司	该中心将以餐厨废弃食用油高效转化为核心，以其他餐厨废弃剩余物研究开发利用为支撑，重点深入研究餐厨垃圾智能分拣设备开发、脱盐、废水处理、有机肥生产等技术研究，形成一批拥有自主知识产权的核心技术，为全省餐厨垃圾资源化利用产业绿色发展、创新发展打造行业标杆。	四川省科学技术厅
18	四川省橡胶机械及废橡胶综合利用工程技术研究中心	四川亚西橡塑机器有限公司	该中心建成后加强橡胶机械及废橡胶综合利用装备的开发，持续不断地为企业提供成熟配套的新工艺、新技术、新装备，为行业发展作出积极贡献；集成国内乃至国际橡胶机械及废橡胶综合利用方面的科技资源，推动产学研合作，搭建技术创新和产业化平台，大力提升我省橡胶机械及废橡胶综合利用技术创新能力；发挥依托单位和技术支撑单位在行业内技术优势，转化科技成果，消化、吸收、辐射先进技术，开展技术交流与培训，为提升我国橡胶机械及废橡胶综合利用整体技术水平和促进节能减排、发展循环经济作出贡献。	四川省科学技术厅
19	四川省废旧电器电子产品处理工程技术研究中心	成都某科技股份有限公司	该中心充分发挥在废旧电器电子产品处理技术积淀深厚的优势，加强与各界环保设备研发单位的合作，加速废旧电器电子产品处理技术的开发，开展标准制定和技术集成，加强成果转化和推广服务。坚持开放式运行，加强人才培养，为行业 and 产业发展提供技术支撑，为提高废旧电器电子产品处理技术研发水平，促进废旧电器电子产品处理产业发展作出贡献。	四川省科学技术厅
20	四川省环境保护有机废弃物资源化利	四川大学	该实验室是依托“985”工程和国际合作建立的高水平环境生物工程研究平台，拥有面积约400平方米的基础实验室和约1500平米的中试实验室，价值超过3千万元的科研设备，凝聚了结构合理	四川省生态环境厅

序号	名称	依托单位	简介	建设单位
	用重点实验室		的人才团队及学术梯队，全方位开展有机废弃物处置和资源化利用相关基础和应用研究。对农村、城市、工业典型有机废弃物如农业秸秆、农村畜禽粪污、下水污泥、餐厨垃圾、工业废渣等展开资源化利用研究，包括生物能源转化、有机肥料转化、生物基产品转化等的基础和应用工艺研究、功能微生物育种、微生物群落功能和调控研究，为有机废弃物的资源化利用提供技术支撑。同时，建设各类新型有机废弃物资源化处理示范工程，为新技术的推广应用提供示范。	
21	四川省环境保护固体废物处理与处置工程技术中心	四川省生态环境科学研究院	该中心针对四川固体废弃物的排放及利用状况和特点，开展固体废物处理技术、资源化利用预处理技术、资源化利用成套技术研发，编制国家和地方标准规范，并通过典型示范工程建设和技术咨询服务进行技术推广和技术转移。通过搭建实验研究平台、国内外合作交流平台，进一步提升四川在固体废物处理及资源化利用领域的研究开发能力和技术水平，推动固体废弃物的研发、理念传播和教育培训等工作，引领固体废物处理及资源化利用这个新兴产业的健康发展，为四川省的城市环境、资源、能源的可持续发展提供坚实的技术支撑。	四川省生态环境厅
22	四川省城市固废能源与建材转化利用技术工程研究中心	成都大学	该中心以城市绿色低碳发展与“无废城市”建设为重大需求，围绕城市固废能源转化与建筑垃圾再生利用两个研究方向，突破城市固废生物能源转化、多种固废制备高性能混凝土、再生建材绿色制造与循环利用等技术瓶颈。充分发挥产学研用优势，积极开展先进技术的引进、消化吸收和再创新，承担城市固废资源化领域研究成果的工程化开发任务和技术推广，解决该领域存在的重大关键的科学问题及成果转化问题。	四川省发展和改革委员会
23	四川省城市污泥建材资源化利用工程研究中心	四川建筑职业技术学院	该中心主要开展废弃物资源化利用技术的工程化开发和系统集成，推进其产业化；承担和参与领域内政策、标准和规范的研究制定，为国家环境管理提供技术支撑；探索和建立市政、工农业废弃物处理设施高水平建设和运营管理模式，推动产业转型升级和可持续发展；培养该领域技术和管理人才，促进多学科融合、产学研一体化；向政府、行业和社会提供与市镇、工农业废弃物资源化利用相关的技术、信息和咨询服务。以保温节能轻质建筑材料、可再生可降解建筑辅材的制	四川省发展和改革委员会

序号	名称	依托单位	简介	批建单位
			备和工业生产为核心，基于水热氧化技术，对以污水剩余污泥为主的废弃物进行预处理以满足绿色建材要求，在污泥处理处置过程、建材生产过程、建材应用过程实现碳减排，为节能环保和建材行业的低碳、减碳技术探索，为水处理行业循环经济实现和建材行业低碳转型开辟一条可行的道路。	
24	四川省矿山尾渣资源化利用工程实验室	四川轻化工大学	该实验室主要开展矿山尾渣资源化利用产业核心技术的攻关、关键工艺的试验研究、重大装备样机及其关键部件研制、环保高新技术的产业化技术开发，搭建产业与科研之间的“桥梁”，突破产业结构调整和重点产业发展中的关键技术装备制约，致力于把矿山尾渣资源化利用及环保装备科研成果转化为推动经济社会发展的现实动力。实验室重点研究以矿山尾渣为代表的固体废弃物有价值组分的回收与资源再利用，以固固分离、液液分离、液固分离、气固分离装备技术研究为核心，以环保型超重力选矿技术与设备、古冶炼渣综合利用技术与设备、重介质选矿技术与设备、多金属尾矿渣综合利用技术、多级往复式干法选矿技术与设备、稀有（稀土）贵金属综合利用技术与设备等关键共性技术研发为主要方向，实现工业过程污染控制技术装备的成果转化与应用。	四川省发展和改革委员会

（四）全省固体废物领域科学技术奖励情况

2016~2022 年期间，全省固体废物污染防治领域获得四川省科学技术奖 23 项，其中一等奖 3 项、二等奖 5 项、三等奖 15 项，且获奖类型主要为科技进步类奖，其次为技术发明类奖。各年度具体获奖数量见图 1-2，获奖等级占比见图 1-3，获得四川省科学技术奖项目的获奖等级、获奖项目、完成单位等详见表 1-11。

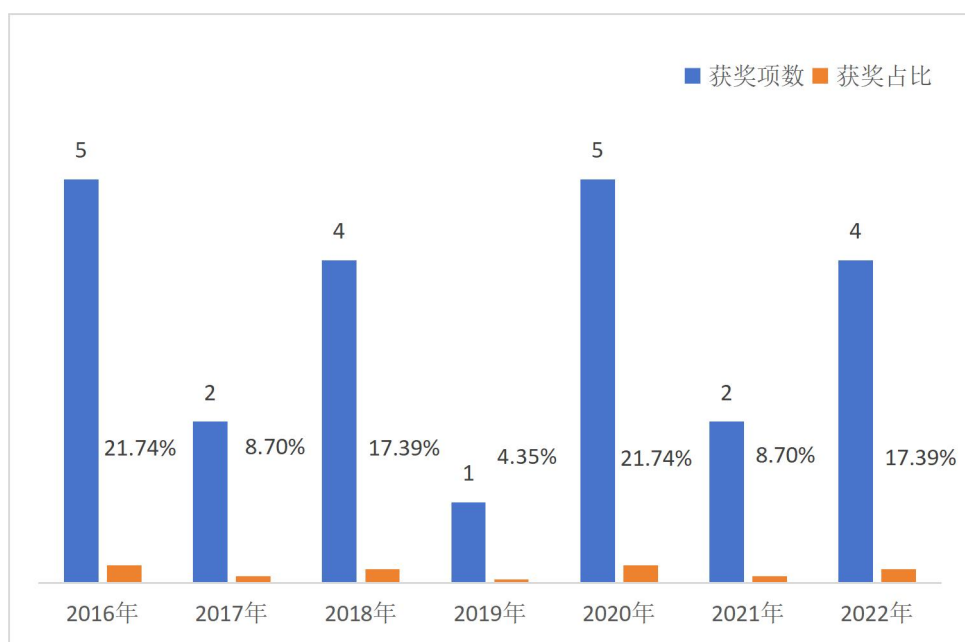


图 1-2 2016~2022 年期间全省固体废物污染防治领域四川省科学技术奖年度获奖占比

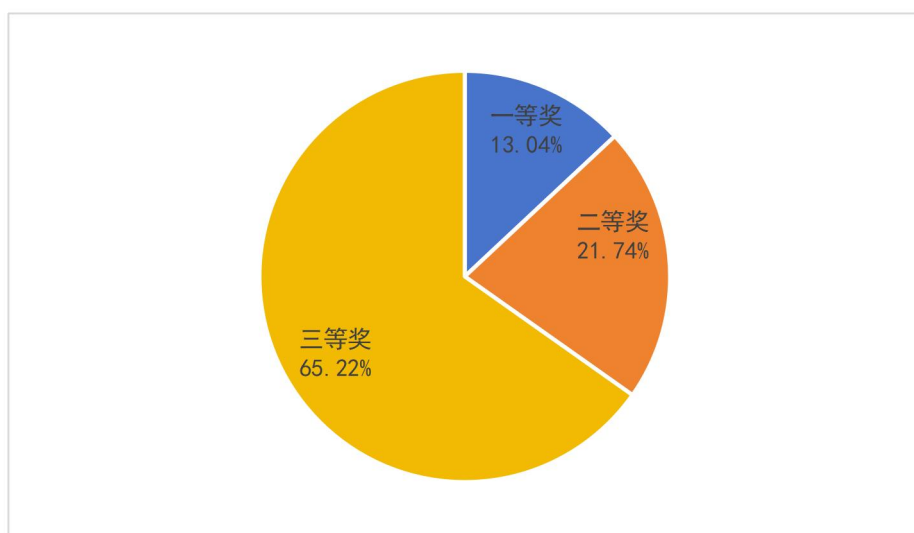


图 1-3 2016~2022 年期间全省固体废物污染防治领域四川省科学技术奖获奖等级占比

表 1-11 2016~2022 年期间固体废物污染防治领域获得的四川省科学技术进步奖

序号	获奖年份	获奖等级	获奖项目	完成单位	完成人员
1	2016	二等奖（科技进步类）	生活工业混合污水、恶臭、污泥协同处理技术与产业化示范	海天水务集团股份有限公司、四川大学、西华大学、厦门大学、四川海天环保能源有限公司、成都海天绿色化学技术研究中心	潘志成、杨平、谷晋川、白敏冬、李慧强、李勇、罗荣林、彭玉梅
2	2016	三等奖（科技进步类）	可控散状物料环保转载系统	四川东林矿山运输机械有限公司	肖阳东、曾远亮、江明刚、李朝霞、杨小波、王己玮

序号	获奖年份	获奖等级	获奖项目	完成单位	完成人员
3	2016	三等奖（科技进步类）	注余渣梯级循环利用技术研究	攀钢集团攀枝花钢铁研究院有限公司、攀钢集团研究院有限公司、攀钢集团攀枝花钢铁有限公司	冉孟伦、袁宏伟、李锡福、张敏、陈均、李扬洲
4	2016	三等奖（科技进步类）	川渝地区气田开发堵塞环防治技术研究	中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司天然气研究院、中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司	吴文刚、刘友权、王小红、李伟、冯莹莹、陈娟
5	2016	三等奖（科技进步类）	畜禽养殖废弃物资源化循环利用技术研究集成与应用	成都市动物疫病预防控制中心、四川农业大学、西南民族大学、四川七环猪种改良有限公司、成都永新无害化处置有限公司	周立新、白林、文勇立、王定国、岳建国、刘金鑫
6	2017	二等奖（科技进步类）	日处理 400 吨垃圾焚烧 CFB 锅炉	华西能源工业股份有限公司	万思本、林雨、蔡文钢、张军、查德洁、陈金火、龚俊、洛海洋
7	2017	三等奖（科技进步类）	晶体硅切割废料的铁合金冶炼资源化技术开发与应用	四川川投峨眉铁合金（集团）有限责任公司	唐华应、吴孝、郑再春、唐先庆、方艳、郑惠丽
8	2018	一等奖（科技进步类）	猪场粪污处理利用关键技术研发与应用	农业部沼气科学研究所	邓良伟、王文国、蒲小东、刘刘、郑丹、王兰、雷云辉、王智勇、宋立、张云红
9	2018	二等奖（科技进步类）	利用多种废物生产改性胶粉掺杂保温墙体砌块	西南科技大学、绵阳九三科技有限公司、江油市万裕建材有限公司	廖辉伟、邓秋林、易勇、李鸿波、潘海波、唐刚、刘才林、马寒冰
10	2018	三等奖（科技进步类）	基于底吹非对称布置的转炉多相渣脱磷技术研究及应用	攀钢集团研究院有限公司、攀钢集团西昌钢铁有限公司、攀钢集团攀枝花钢铁研究院有限公司	王建、陈均、喻林、黄东平、龚洪君、汪盼
11	2018	三等奖（科技进步类）	多金属危废模块化回收综合利用工艺技术系统集	西华师范大学、青川县天运金属开发有限公司、重庆太锦环保科技有限公司	杨秀培、王修海、谢治辉、贾智慧、郑保战、苟明

序号	获奖年份	获奖等级	获奖项目	完成单位	完成人员
			成及应用	有限公司、四川大学	
12	2019	三等奖（科技进步类）	急倾斜煤层采掘工作面粉尘治理关键技术研究	四川省华蓥山煤业股份有限公司、中煤科工集团重庆研究院有限公司	李正军、邓天华、李德文、刘建、陈云、黎志
13	2020	一等奖（科技进步类）	餐厨回收油资源化利用制备生物基增塑剂关键技术及产业化	四川大学、河北金谷再生资源开发有限公司、宜宾学院	陈意、范浩军、赵敏仲、徐洲、颜俊
14	2020	三等奖（技术发明类）	垃圾渗滤液膜浓缩液中主要污染物去除的关键技术及应用	四川师范大学、四川师范大学、四川师范大学、四川深蓝环保科技有限公司	刘咏、张爱平、龚小波、陈科宇、赵旭
15	2020	三等奖（科技进步类）	半钢转炉含铁物料的再资源化炼钢关键技术研究与应用	攀钢集团攀枝花钢钒有限公司、攀钢集团研究院有限公司、攀钢集团西昌钢钒有限公司	梁新腾、张彦恒、杨金成、王二军、张威、赵志强
16	2020	三等奖（科技进步类）	奶牛粪污生物转化与水肥资源高效循环利用关键技术创新及应用	四川师范大学、南京贝克特环保科技有限公司、成都市农林科学院、四川师大绿环生物科技有限公司、四川鹤岛农业科技有限公司	胡佩、秦丹、吴永胜、周立祥、王建明、李维
17	2020	三等奖（科技进步类）	煤炭洗选全流程节能及污染物近零排放技术与应用	四川广旺能源发展（集团）有限责任公司、重庆大学	周爱荣、丁林、欧钦、杨永伟、王刚、杨仲卿
18	2021	二等奖（科技进步类）	含钛高炉渣制备装配式建筑隔墙板关键技术及产业化应用	四川省劲腾环保建材有限公司、四川省产品质量监督检验检测院、四川汇源钢建装配建筑有限公司、四川汇源钢建科技股份有限公司	蔡建利、王杜楦、彭菁、汤春林、曹立荣、雷武军、李亮、周晓龙
19	2021	三等奖（科技进步类）	钒铬污泥资源化利用技术及产业化示范	攀钢集团钒钛资源股份有限公司、中国科学院过程工程研究所	张洋、汪超、范兵强、李千文、郑诗礼、游本银
20	2022	一等奖（科技进步类）	基于选择性碳化—氯化理论的高钛型高炉渣高值化利用技术	攀钢集团攀枝花钢铁研究院有限公司、攀钢集团攀枝花钢钒有限公司、攀钢集团钒钛资源股份有限公司、攀钢集团工程技术有限公司	杨仰军、龙飞虎、李亮、查笑乐、王建鑫、任艳丽、陆平、周玉昌、黄家旭、李良

序号	获奖年份	获奖等级	获奖项目	完成单位	完成人员
				司、中国科学院过程工程研究所、重庆大学、中冶赛迪工程技术股份有限公司	
21	2022	二等奖（科技进步类）	农业有机废弃物高效厌氧发酵技术及安全利用	农业农村部沼气科学研究所、四川省农村能源发展中心、华中农业大学、四川中沼生物能源检测有限责任公司、德阳好韵复合材料有限公司	冉毅、罗涛、黄如一、艾平、席江、曾文俊、陈子爱、孔垂雪
22	2022	三等奖（科技进步类）	畜禽粪污处理过程中污染减控关键技术与装备研发及应用	乐山师范学院、中国农业大学、北京沃土天地生物科技股份有限公司	江滔、李国学、丁京涛、罗文海、王健、彭生平
23	2022	三等奖（科技进步类）	生猪安全生产工艺及粪污处理关键技术创新与应用	四川农业大学、成都旺江农牧科技有限公司、成都市动物疫病预防控制中心	白林、周立新、王定国、汤文杰、郝晓霞、石湫

2016~2022 年期间，全省固体废物污染防治领域获得四川省环境保护科学技术奖 5 项，其中，一等奖 2 项、二等奖 1 项、三等奖 2 项，获奖项目等级、完成人和完成单位信息详见下表 1-12 所示。

表 1-12 2016~2022 年期间固体废物污染防治领域获得的四川省环境保护科学技术奖

序号	获奖年份	获奖等级	获奖项目	完成单位	完成人员
1	2017	一等奖	磷石膏基改性硫酸钙晶须制备工艺及工业生产	西南科技大学、北京建筑材料科学研究总院有限公司、贵州省建筑材料科学研究设计院、广西凯浩环保材料股份有限公司	董发勤、何平、徐中慧、谭宏斌、王肇嘉、万军、陈德玉、刘晓刚、何花
2	2017	三等奖	燃煤锅炉烟尘除尘、脱硫、脱硝一体化装置	四川君和环保股份有限公司	罗启贵、杨贤友、杨波、张宇斌、乐国祥
3	2022	科技类二等奖	高硫烟气脱硫除尘除雾一体化超低排放协同固废资源化综合利用技术	成都蓝鼎环保科技集团有限公司、攀枝花市蓝鼎环保科技有限公司、四川省环保科技工程有限责任公司、四川大学	李自树、叶宏、李建军、王幸锐、曾景祥、黄明忠、唐刚、李富勇、徐筠、黄晓

序号	获奖年份	获奖等级	获奖项目	完成单位	完成人员
4	2022	科技类一等奖	磷石膏污染控制与资源化关键技术	四川省生态环境科学研究院、绵阳市金鸿饲料有限公司、四川省汉源化工总厂	雍毅、侯江、吴怡、尹朝阳、郭卫广、黄祥、张力、张德军、寇峻玮、罗大鹏、彭晓曦、林康
5	2022	科技类三等奖	油气勘探钻井废弃泥浆渣泥生物处理资源化土地利用技术	中国石油集团川庆钻探工程有限公司安全环保质量检验检测研究院、中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司安全环保与技术监督研究院、四川农业大学、四川科特检测技术有限公司	刘汉军、陈立荣、刘轶豪、朱进、徐炳科、文炜涛、舒畅、孙玉

第二章 四川省一般工业固体废物处理处置技术

一般工业固体废物主要包括煤矸石、粉煤灰、炉渣、尾矿、冶炼废渣、工业副产石膏、工业污泥等，具有产生量大、环境影响突出、利用前景广阔的特点。近年来，随着一般工业固体废物堆存量的不断攀升，对其进行资源回收和综合利用已成为我国实施可持续发展战略的重要内容之一，也是推进减污降碳协同增效的重要抓手。

一、全省一般工业固体废物处理处置现状

四川省采选业、制造业等行业较发达，一般工业固体废物产生量较大。根据环境统计数据，2022 年四川省一般工业固体废物产生量约 1.5 亿 t，以尾矿为主，占比达 50%以上。2018~2022 年四川省一般工业固体废物产生量变化如图 2-1 所示。2022 年四川省各类一般工业固体废物产生量对比如图 2-2 所示。

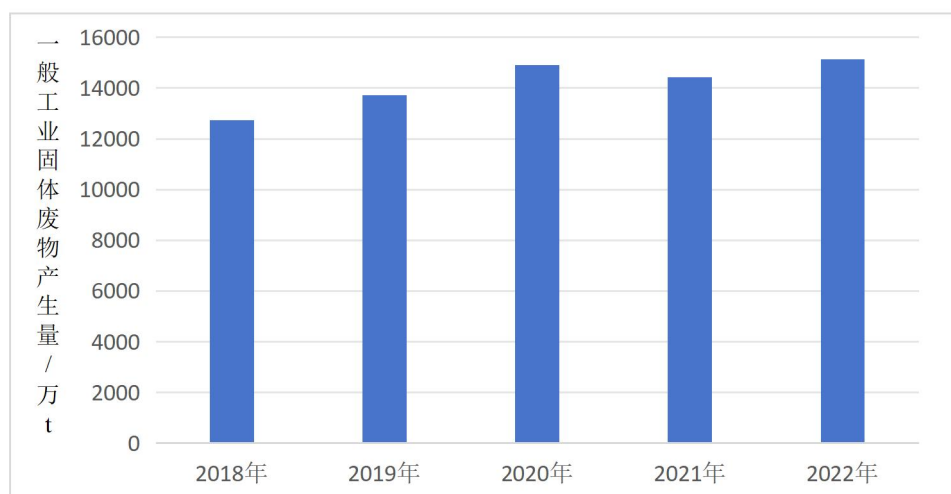


图2-1 2018~2022年四川省一般工业固体废物产生量对比

（来源：2022 年环境统计数据）

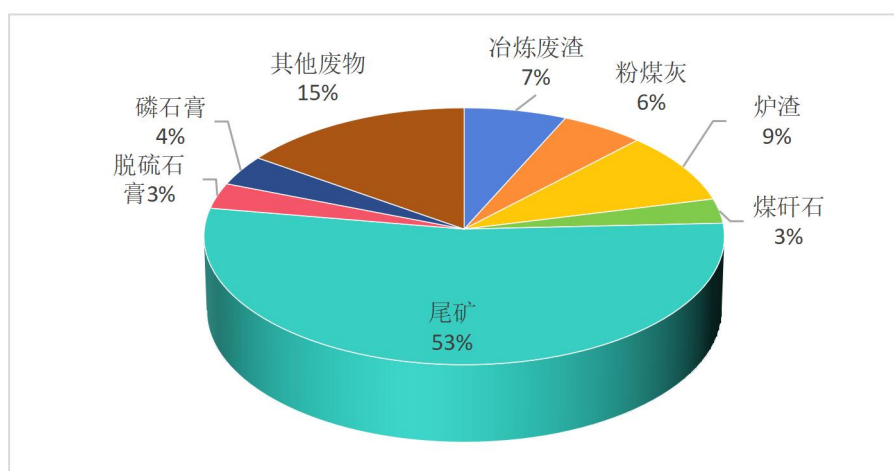


图2-2 2022年四川省各类一般工业固体废物产生量对比
(来源：2022 年环境统计数据)

从行业看，选矿、冶金、化工等行业固体废物产生量较大，占比较高。各行业一般工业固体废物产生情况如图 2-3 所示。

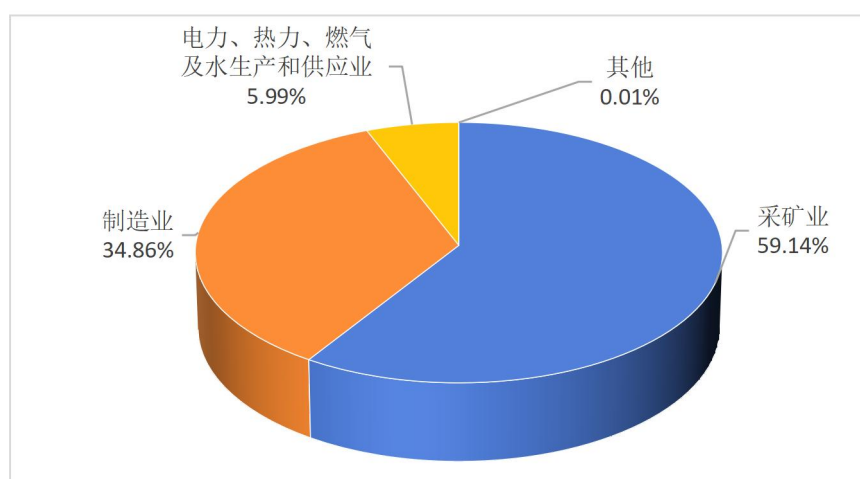


图2-3 2021年四川省各行业一般工业固体废物产生量对比
(来源：2022 年环境统计数据)

近年来，四川省一般工业固体废物综合利用率不断提高，堆存率逐年下降。2022 年，全省一般工业固体废物综合利用率约 45%，比 2021 年提高 3.7 个百分点。其中，磷石膏、炉渣、赤泥、冶炼废渣、粉煤灰综合利用率较高、达 80%以上，磷石膏、炉渣、尾矿综合利用率持续提升。

表 2-1 2021 年四川省一般工业固体废物产生利用处置情况

固废类型	脱硫石膏	磷石膏	冶炼废渣	粉煤灰	炉渣	煤矸石	尾矿	其他废物	合计
利用率 (%)	52.54	91.44	85.02	84.51	89.87	74.58	16	68.51	44.94
处置率 (%)	24.33	0	14.74	6.79	8.72	10.39	16.29	30.69	16.64
贮存率 (%)	23.13	8.56	0.24	8.7	1.41	15.03	67.71	0.8	38.42

(来源：2022 年环境统计数据)

二、一般工业固体废物处理处置技术水平与需求

(一) 尾矿

目前四川省尾矿利用率较低，不到 15%，利用以井下充填、做路基材料、制尾矿微粉用于水泥生产等为主，大部分堆存处置或贮存于尾矿库。全省有 192 座尾矿库，分布在 11 个市（州），其中攀枝花、甘孜州、凉山州等川西南地区尾矿库数量占比 82.8%，分布较为集中。

我省的尾矿库历史欠账较多，在矿产开发“大干快上、有水快流、有矿快采”的历史时期，普遍存在一些问题，主要包括：选址不规范，如选址离河流较近，或位于主要饮用水源上游，或位于水质较好湖泊上游，还有一些尾矿库位于岩溶区，存在一定风险；设计、建设不规范，环境保护设施不完善，如防渗设施无法满足要求，无渗滤液收集池、地下水水质监测井等；运行管理不规范，如渗滤液收集池、地下水监测井运行不正常，选厂停运后尾水及渗滤液无法回用，用排洪隧洞排尾水，等等；其他建设手续不全、防范环境风险能力薄弱、历史遗留尾矿库整治难度较大等问题。

“十三五”以来，生态环境部更新了一系列固体废物污染防治法律法规、技术标准，对污染防治和环境风险隐患排查整治等方面提出

了更高要求，加之随着选矿工艺或浮选药剂迭代更新，原有工程设计、管理体系、污染防治措施、应急处置方案已不能满足现有生态环境保护要求，制约环境隐患排查治理效果。

此外，我省尾矿库的环境监管力量和技术支撑能力严重不足，大部分市（州）未设置单独的固体废物管理科室，由土壤与固废管理科兼职从事固体废物管理；在技术标准上，尾矿库污染防治仍然使用《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》《尾矿设施设计规范》等通用标准，不满足精细化管理需求，制约环境隐患排查治理的有效性、针对性和可操作性。

（二）磷石膏

四川省磷石膏主要集中在德阳市、凉山州、达州市等地。目前磷石膏利用率达到了 91%，利用方式主要包括生产水泥缓凝剂、石膏板、石膏砖，等等。

虽然我省近几年在磷石膏处置利用取得了较大的成果，但磷石膏综合利用途径窄，磷石膏制备水泥缓凝剂仍占据磷石膏消纳市场一半份额，产品科技含量低、同质化严重、低附加值、低利润，依赖初级化利用的方式仍未得到改观，磷石膏多途径高附加值综合利用途径尚未形成。

我省部分磷化工企业对磷石膏处置利用不够重视，绿色发展理念不强，仍旧停留在为完成环保要求，对磷石膏“能堆则堆”“被动消纳”，磷石膏消纳和综合利用工作总体进展缓慢，对磷石膏高品质综合利用技术开发主动意愿不强，导致磷石膏综合利用产品单一低质化

严重，严重影响未来磷石膏综合利用发展。此外，磷石膏产品生产、销售、推广及应用专业技术开发人员缺乏。目前消费者对磷石膏建材产品健康安全性认知存在疑虑，影响磷石膏综合利用产品的市场推广和应用。

随着磷石膏上游磷酸产业加速向磷酸铁锂电池产业布局，磷石膏产量未来将呈现持续快速增长趋势，同时随着下游产业建筑业的“降温”，磷石膏的综合利用建材产品开始滞销，未来将面临巨大困局，拓宽磷石膏大规模综合利用途径迫在眉睫。

尽管我省出台了磷石膏处置利用一系列政策，取得较大成效，但面对磷石膏处置利用艰巨复杂性，仍旧表现出总体规划不清晰，关键技术及设备研发政策资金补贴不足、对磷石膏产品的环保、健康标准制定不全，对利用企业的财政补贴支持力度不足，对石膏建材市场的引导不足等。如国家发展和改革委员会、工业和信息化部等部门相继下发关于磷石膏综合利用技术开发与应用的政策文件，但我省相关的税收优惠等扶持力度略显不足。2022年12月，推动长江经济带发展领导小组办公室制定的《长江总磷污染综合治理实施方案》要求行业主管部门制定磷石膏在路基材料、井下充填、生态修复等领域的操作规程及环境风险评估规范。目前贵州省、湖北省已相继发布了相关标准，但国家和我省尚未出台。我省磷化工企业对此有强烈需求，尚无标准可循。

（三）其他

四川省粉煤灰、炉渣、煤矸石、冶炼废渣、其他废物的利用处置

率相对较高，除部分煤矸石低热值发电，大部分的利用以井下充填、做路基材料、制建筑材料为主，产品品质及产品附加值较低，个别领域综合利用技术尚未成熟，对原生资源的替代作用未能充分发挥。

粉煤灰建材化利用需要研发新工艺以提高粉煤灰的利用率，降低粉煤灰堆积带来的环境影响。此外，利用粉煤灰地质聚合物制备建筑材料时会存在反碱问题，这个问题严重制约了粉煤灰地聚物材料的广泛应用。

高炉矿渣在建材领域广泛应用，将矿渣与其他固废混合制备复合掺合料，并实现低活性掺合料替代矿渣的目的，有利于矿渣的高值化利用。钢渣的规模利用还存在活性低及体积稳定性问题。铁合金渣在生产水泥和混凝土中的利用存在活性激发及长期安全性问题。

以高岭土等黏土类为主要矿物成分的煤矸石，由于含有丰富的潜在活性硅铝酸盐，经活化后可以作为掺合料制备煤矸石水泥，然而存在反应活性不足无法完全替代黏土的问题。以长石等矿物为主的煤矸石，由于其潜在活性较低，利用附加值较低，直接或破碎后作为粗细骨料用于砂浆、混凝土等建材的生产。

燃煤炉渣主要应用于混凝土及砂浆骨料、混凝土掺合料以及制备陶瓷产品，但燃煤炉渣宽泛的粒径分布和疏松多孔的颗粒结构，难以像粉煤灰一样直接应用于建材。

脱硫石膏用于生产水泥、用作混凝土掺合料等建材利用时掺量高，应用前景广阔。但脱硫石膏中含有水分和杂质，会影响其应用效果，还需高效低成本的提纯工艺上有所突破。脱硫石膏在掺量较大时易产

生体积不稳定，利用脱硫石膏在激发、缓凝、加速强度增长等方面优势时，需平衡体积稳定性的影响。

三、一般工业固体废物利用处置技术介绍

（一）资源化利用

1.提取有用成分

一些尾矿和冶炼废渣仍含有一定比例的有用成分，可进行提取以实现资源化利用，可缓解资源紧缺的矛盾，但一般投资较大，部分物质的提取还存在一定的技术难度。

钢渣中一般含有 7%~10%的废钢或渣铁，经破碎、磁选、筛分等分选技术可回收其中 90%以上的废钢及部分磁性氧化物，回收后的废钢铁可作为炼钢、炼铁的原料。

赤泥可通过酸（盐酸、硫酸、磷酸）处理法回收二氧化钛，可通过还原焙烧+磁选提取 Fe_3O_4 或通过电炉熔炼产出生铁，还可通过还原熔炼+化学法等回收钪。铜冶炼废渣可通过火法、湿法、选矿法回收其中有价金属元素。

铁尾矿可通过磁选—磨矿—强磁选—1 粗 1 精 3 扫反浮选进行再选铁，回收铁精矿。钒钛磁铁矿尾矿中除铁外还含有其他大量的有价成分，可进行钛、硫、钴、磷等有价元素二次回收利用。铅锌尾矿采用重选、浮选联合工艺进行尾矿再选，可回收锡。金尾矿经球磨后采用 1 粗 3 扫 3 精浮选再选，可回收金精矿。

2.低热值发电

部分发热量较高的煤矸石可用来发电，掺烧部分中煤、尾煤或者

煤泥，通过循环流化床燃烧产生蒸汽驱动涡轮机组旋转发电，从而将煤矸石转化为清洁能源。煤矸石发电投资成本低，具有较大的经济性。燃烧后的灰渣具有较高的活性，可用来生产水泥等建筑材料。会产生大量二氧化硫等有害气体、灰渣等固体废物，需进一步处理处置。采用煤矸石发电时，煤矸石低位发热量应在 6270 千焦/千克以上，不大于 12550 千焦/千克；发电厂适合在大型煤炭矿区内或紧邻大型煤炭洗选设施建设。

3. 矿山充填

采矿废石、尾矿、冶炼废渣、煤矸石、粉煤灰、炉渣、工业副产石膏可用作矿山充填料的骨料或凝胶材料，对矿山采空区进行充填，以达到安全采矿、提高资源利用率、防止地表塌陷等目的。尾矿充填以尾矿为主要成分，脱水后辅以水泥等胶凝材料和改性材料制备成膏体，采用膏体泵送工艺输送至矿山采空区进行回填作业。煤矸石充填可将煤矸石制成一定粒度颗粒，与矿井水混合制成矸石浆体，再通过注浆泵以管道输送的方式充填至井下采空区，进而实现煤矸石的无害化处置。

4. 制备建筑材料

4.1 作路基材料

煤矸石具有密度大、硬度高、耐风化的特性，是一种优质的工程填筑材料，可代替砂石集料单独或与黏性土、粉煤灰、熟石灰等混合作为路基填料，在采用较为合适的粒径级配、保证含水率和压实度的情况下，煤矸石路基具有更好的强度、稳定性、承载能力和更小的弯

沉值。粉煤灰也是良好的铺路材料，可代替黏土应用于铺路，其结成硬板块作为地基不易下沉，路基坚实、施工方便，且节约黏土资源，原料来源广泛，工程成本低。

4.2 制砖

粉煤灰、煤矸石、炉渣、尾矿等都可被用于制砖。以粉煤灰、生石灰为主要原料，掺加适量石膏等外加剂和其他集料，经胚料制备、压制成型、高压蒸汽养护可制得蒸压粉煤灰砖。蒸压粉煤灰砖具有体积稳定性好、强度高、隔音效果好等优点，但也存在着易开裂和耐久性低等缺点。煤矸石经过破碎和筛分后，与适量的粘土、石灰和其他辅助原料按照一定比例混合，再经挤压成型、硬化处理、烧结、冷却，就可以制得煤矸石烧结砖。煤矸石烧结砖具有外形美观、强度高、隔音、隔热、防腐等特点，可广泛用于各类建筑工程。

4.3 制石膏建材

脱硫石膏、磷石膏可用来制取各种石膏建筑材料，如建筑石膏粉、石膏板、石膏砌块、石膏砖、石膏干粉砂浆等。磷石膏经预处理后，加入轻集料、填充料等辅助原料经加水搅拌、浇注成型和干燥可制得轻质石膏砌块。生产纸面石膏板也是一种常用的利用方式，石膏废物掺入适量纤维增强材料和外加剂，与水搅拌后浇注于两层护面纸之间，经成型、凝固、切断、干燥、切割即可制得。磷石膏生产纸面石膏板工艺流程如图 2-4 所示。

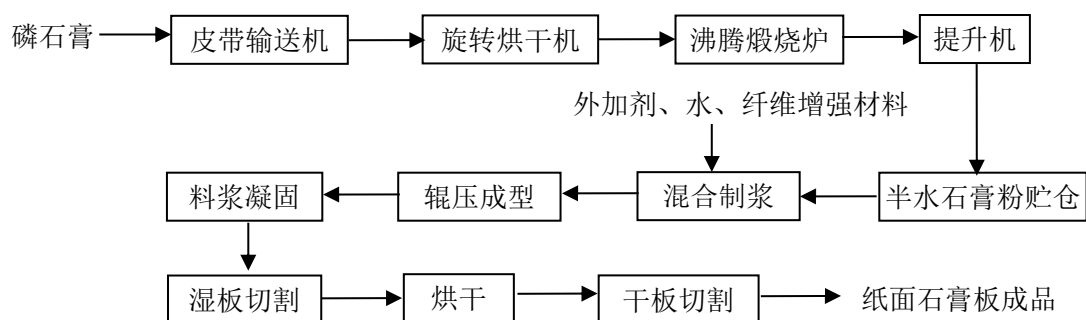


图2-4 磷石膏生产纸面石膏板工艺流程

4.4 制水泥缓凝剂

水泥中一般添加 3%~5%石膏作为无机缓凝剂来延缓凝结时间，便于混凝土的浇注。脱硫石膏、磷石膏和天然石膏的组成和特性极为相似，可代替天然石膏作为水泥缓凝剂。其工艺简单，投资省，生产费用低；但附加值较低，运输半径小，使用前需改性预处理去除有害杂质，避免影响水泥的质量和使用性能。磷石膏改性的方法包括水洗法、生石灰中和法、煅烧法。目前国内主流磷石膏制备水泥缓凝剂的工艺如图 2-5 所示。

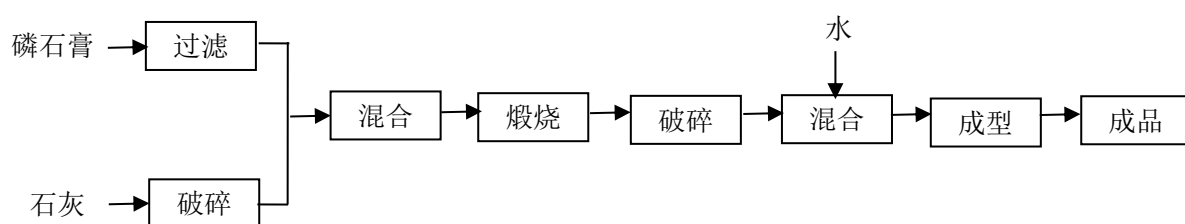


图2-5 半水-二水法磷石膏制备水泥缓凝剂工艺流程

4.5 制混凝土

尾矿、废石、粉煤灰、煤矸石、炉渣、冶炼废渣等可用于制混凝土。一些废石、粗粒尾矿可以全部或者部分代替天然砂石作为混凝土的细骨料使用，具有良好的强度、抗冻性和抗变形能力；粉煤灰、炉渣、磷渣、污泥等可作为活性矿物掺合料，减少硅酸盐水泥在混凝土

中的使用量，并可起到增加塑性、降低水泥水化热峰值、提高混凝土密实度和耐久性的作用。

5.作土壤调理剂

磷石膏、脱硫石膏都可作为土壤调理剂用于改良盐碱土壤，调节土壤酸碱平衡，改善土壤结构及土壤微生物存活条件；磷石膏和脱硫石膏中还含有硫、磷、钙、硅等有效养分，可大幅度地增加土壤中的营养含量，达到农作物增产增收的目的。尾矿作土壤改良剂的主要原理是一些尾矿含有的组分可以与土壤中的有害物质发生反应，阻止土壤中的有害物质迁移，可以有效修复被污染的土壤。

6.制备微晶玻璃

冶炼废渣、尾矿等一般工业固体废物可用于制备微晶玻璃。利用冶炼废渣与玻璃组分相似的特性，以炼铁废渣和有色金属矿渣为主要原料，经过熔融、浇铸、晶化、退火等工艺可制成矿渣微晶玻璃。一些冶炼废渣含有的 S 等成分在烧结过程中可作为发泡剂，含有的 TiO_2 等成分则是天然的晶核剂，在制备微晶玻璃时可减少添加剂的成本。铁尾矿中含有硅、铝、钙、镁的氧化物，是微晶玻璃的主要成分，铁尾矿可以在微晶玻璃制备过程中充当硅料并提供少量铝、钙和镁，此外，铁尾矿的加入一般可以提高微晶玻璃的抗折强度、密度和耐酸碱性。

(二) 无害化处置

1.贮存填埋

一般工业固体废物在利用处理前会临时贮存起来，一些无法进一

步利用的如部分尾矿、冶炼废渣等则被填埋处置。贮存填埋主要是选择合适的场地、采取防渗措施等，将固体废物储存起来，以控制污染物的迁移和扩散，防止污染环境，具有处理量大、易管理、成本低、适应性强等优点，但占地面积大，会产生渗滤液，需进行处理以防止二次污染。一般工业固体废物贮存、填埋需按照《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB 18599-2020）要求，建设防渗系统、渗滤液收集和导排系统，雨污分流系统，及配套设施，并根据需要设置地下水导排系统和废水处理系统。

2.水泥窑协同处置

水泥窑协同处置是将满足或经过预处理后满足入窑要求的固体废物投入水泥窑，利用水泥窑高温烧结的特性，将固体废物在高温下进行热解和氧化还原反应，在进行水泥熟料生产的同时实现对固体废物的无害化处置过程。粉煤灰、钢渣、硫酸渣、高炉矿渣、煤矸石等一般工业固体废物常作为水泥生产的替代原料掺入水泥窑处置，一些工业污泥的化学组成和物理特性当满足要求时也可由水泥窑协同处置。水泥窑协同处置固体废物具有焚烧温度高、焚烧空间大、焚烧停留时间长、焚烧状态稳定、碱性的环境气氛及高效节能、投资成本低、应用广泛等特点。入窑固体废物应具有相对稳定的化学组成和物理特性，其重金属以及氯、氟、硫等有害元素的含量及投加量应满足《水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范》（HJ662-2013）等的要求。

一般工业固体废物利用处置主要技术见表 2-2。

表 2-2 一般工业固体废物利用处置主要技术

一般工业 固体类型	技术名称	技术原理	技术特点	应用领域
钒钛磁铁矿尾矿	尾矿再选	利用钒钛磁铁矿选铁后的尾矿作为原料，经一段强磁抛尾后获得粗钛精矿。将粗钛矿进行一段闭路磨矿后经弱磁扫铁，再经二段强磁获得钛精矿。二段强磁尾矿经反浮选除硫后，再进行全粒级浮钛，经过“一粗四精”选别作业后获得最终钛精矿。	具有流程短、设备配置简单、投资省、成本低等特点。	钒钛磁铁矿尾矿再选回收钛铁。
煤矸石	矸石发电	将煤矸石破碎并与其他燃料混合后在循环流化床中进行燃烧，产生蒸汽驱动涡轮机旋转发电，从而将煤矸石转化为清洁能源。	投资成本低，经济效益较高。会产生大量二氧化硫等有害气体、灰渣等固体废物，需进一步处理处置。	煤矸石低位发热量应在 6270 千焦/千克以上，不大于 12550 千焦/千克；适合在大型煤炭矿区内或紧邻大型煤炭洗选设施规划建设。
煤矸石	注浆矿井充填	将煤矸石制成一定粒度颗粒，并与矿井水混合制成矸石浆体，最后通过注浆泵以管道输送的方式将矸石浆体充填至井下采空区，进而实现煤矸石的无害化处置。	成本较低且不含添加剂，对生产及环境影响较小，提高充填效率；可有效填平采空区，避免地面塌陷、地质灾害等问题。	适用于煤矿采煤过程中产生的井下采空区填充。
高炉渣	建材利用	热熔状态的高炉渣出炉后经过渣沟流入泼渣坑内，铺展后喷水冷却，凝固后掘出，经破碎、筛分，再经磁选回收铁后，制成碎石和渣砂以代替天然砂石，作为建材利用。	可有效回收高炉渣中的有价物质；生产的建材耐磨、耐热，应用广泛；投资大，占地面积大，大量水蒸汽裹挟着渣体会产生粉尘扩散。	适用于高钛重矿高炉渣利用，产品可用于混凝土、钢筋混凝土以及钢筋混凝土骨料等。
煤矸石、粉煤灰	烧结砖	利用煤矸石、粉煤灰等作为主要原料，与粘结剂等辅助材料进行搅拌混合，经机器压实成型，再经养护、烧结制成。	煤矸石烧结砖、粉煤灰烧结砖稳定性好、强度高、隔音效果好。	应用广泛，适于一般工业与民用建筑的承重及非承重墙体。
磷石膏、脱硫石膏	制水泥缓凝剂	利用工业副产石膏与天然石膏相似的组成和特性，通过预处理去除杂质改性后，在水泥水化过程中添加提供足够的硫酸根离子，	工艺简单，投资省，生产费用低；附加值很低，运输半径小；须改性预	水泥缓凝剂用于水泥稳定材料的制作过程，使用量为水泥

一般工业 固体类型	技术名称	技术原理	技术特点	应用领域
		生产难溶的水化硫铝酸钙，在熟料离子表面形成保护膜，从而避免水泥中铝酸三钙矿物快速水化导致水泥体系的早凝或速凝，起到缓凝的作用。	处理，消除杂质对水泥质量的影响。	质量的 3% ~ 5%。
磷石膏、脱硫石膏	制纸面石膏板	工业副产石膏掺入适量纤维增强材料和外加剂，与水搅拌后浇注于两层护面纸之间，经成型、凝固、切断、干燥、切割而成。	投资少，工艺简单，易实施，产品具有良好的防火性能和施工性能。	纸面石膏板主要用于室内墙体和天花板的装饰和隔离，广泛应用于住宅、商业建筑和公共建筑等领域。
铁尾矿砂	制混凝土	铁尾矿砂与天然砂成分相似，可代替天然砂采用细度模数为 3.0~2.3 的铁尾矿混合砂作为细集料配置混凝土，掺和比例一般为 10%~50%。	在合理掺量下的尾矿砂混凝土，强度、抗冻性、抗碳化能力、与钢筋的粘结力、耐久性、抗渗能力均高于普通混凝土。	铁尾矿砂混凝土广泛应用于大型公路、桥梁、隧道等基础工程和建筑工程，也逐渐应用到路面、水泥制品等建材行业。
脱硫石膏	制土壤调理剂	脱硫石膏所含的 Ca^{2+} 可以置换土壤中的可交换性 Na^{+} ，从而降低碱土的 pH 值，有效改善土壤结构和导水导气能力，促进盐分淋洗，进而实现盐碱土壤改良和作物增产。	改良碱化土壤成本低、见效快、改良效果显著。施用量应根据土壤碱化度、土壤改良深度、土壤容重、土壤调理剂中石膏的质量分数等因素确定。	适用于碱化土壤改良，也可施用于中性土壤，并可为植物提供钙、硫等营养元素。
冶炼废渣	制矿渣微晶玻璃	利用冶炼废渣与玻璃组分相似的特性，以炼铁废渣和有色金属矿渣为主要原料，经过熔融、浇铸、晶化、退火等工艺制成。	是一种优良的结构材料，具有很高的耐化学腐蚀性、耐热性、抗折强度、抗压强度和耐磨性，也是良好的绝缘体。	作为高档的建筑装饰材料和优秀的耐磨防腐材料。
一般工业 固废废物	贮存填埋	选择合适的场地、采取防渗措施，将固体废物储存填埋场中，以控制污染物的迁移和扩散，防止污染环境。	具有处理量大、易管理、成本低、适应性强等优点。占地面积大，会产生渗滤液，需进行处理防止二次污染。	可用于处置暂时无法利用或无利用价值的一般工业固废。

一般工业 固体类型	技术名称	技术原理	技术特点	应用领域
一般工业 固体废物	水泥窑协 同处置	将满足或经过预处理后满足入窑要求的固体废物投入水泥窑，利用水泥窑高温烧结的特性，将固体废物在高温下进行热解和氧化还原反应，在进行水泥熟料生产的同时实现对固体废物的无害化处置。	具有焚烧温度高、焚烧空间大、焚烧停留时间长、焚烧状态稳定、碱性的环境气氛及高效节能、投资成本低、应用广泛等特点。	可用于处置大部分一般工业固废，以及符合条件的工业污泥。

四、一般工业固体废物处理处置技术典型应用案例

案例一：磷石膏利用生产石膏基自流平砂浆

项目名称：四川某集团股份有限公司半水磷石膏利用生产石膏基自流平砂浆项目

项目规模：1 万 t/a

技术工艺：半水磷石膏经烘干脱去游离水，掺加生石灰（碱性激发剂）调节 pH，再加 5 % 左右水泥、玻化微珠和缓凝剂等辅料拌混即可成为石膏自流平材料。半水石膏本身有胶凝性，抗折强度能达到 5 ~ 10Mpa，水泥可以增强自流平材料强度。玻化微珠可以减少自流平收缩和开裂，缓凝剂可以调节凝结时间。

达到标准：产品指标可满足现行国家建材行业标准《石膏基自流平砂浆》（JC/T 1023-2021）和中国建筑材料联合会的协会标准《石膏基自流平砂浆》（T/CBMF 82-2020）中 G20 标准，如下所示。产品主要用于家装和工装的室内地面找平，可替代传统的水泥河沙砂浆找平和水泥基自流平砂浆。

表2-3 石膏基自流平砂浆性能指标对比

检测项目	JC/T 1023-2021	T/CBMF 82-2020	川恒石膏基自流平	
	G20	G20		
pH 值	≥7	≥7	10~11	
氯离子浓度/ppm	—	≤400	168	
30min 流动度损失/mm	—	≤3	1	
初凝/h	—	≥1	4	
终凝/h	—	≤10	4.5	
28d 尺寸变化/%	≤0.05	≤0.05	0.02	
抗折强度/MPa	24h≥2.0	3d≥1.5	24h-2.6	3d-4.0
	绝干抗折≥5	28d≥4.0	绝干-7.5	28d-7.6
抗压强度/MPa	24h 抗压≥6.0	3d≥8.0	24h-11	3d-19.0
	绝干抗压≥20.0	28d≥20.0	绝干-29.3	28d-29.0
粘接强度/MPa	≥1.0	≥1.0	1.2	

该产品施用后平整度高，达到 3 米靠尺高差小于 2 毫米；一次施工厚度 10—80mm 不空鼓不开裂，收缩率小于等于万分之五，是水泥基材料的十分之一；抗压强度高，达到 30MPa 以上；不含可溶性污染物，不释放甲醛、无有机挥发物，绿色环保；可采用机械化施工模式，劳动强度低，施工方便，施工效率高。

案例二：冶炼废渣综合利用

项目名称：某集团某实业有限公司冶炼废渣综合利用项目

项目规模：高钛重矿高炉渣 300 万 t/a、转炉钢渣 40 万 t/a

技术工艺：高炉渣经热泼翻渣处理后，通过生产线回收少量含铁物料，剩余尾渣经处理后，以大小碎石、渣砂的产品形式作为建材原料实现综合利用。高炉渣处理工艺流程如下图 2-6 所示。

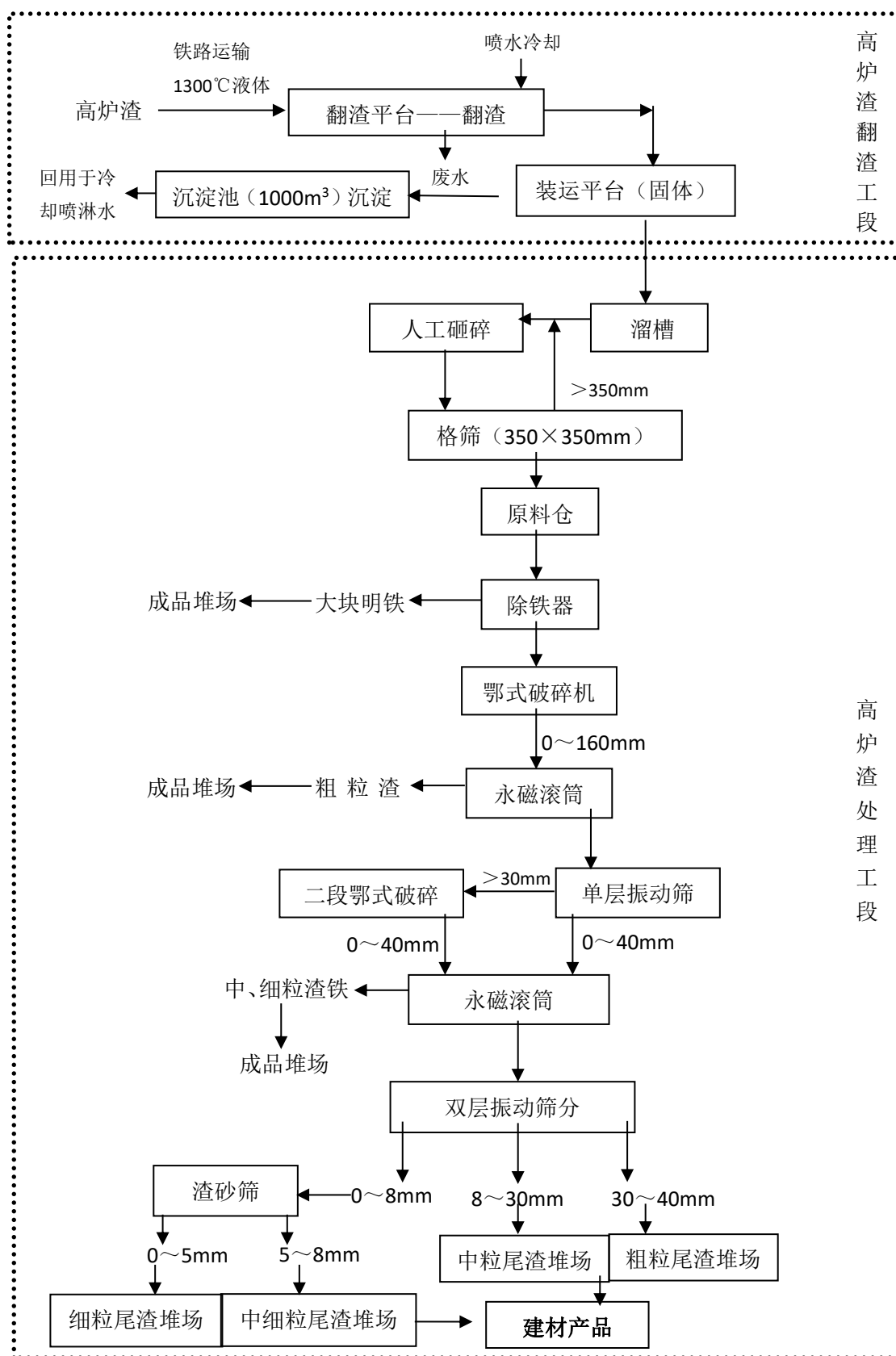


图 2-6 高炉渣处理线工艺流程

钢渣经热闷处理后，通过生产线加工回收部分含铁物料返回炼钢循环利用，剩余尾渣近两年主要用于含 V 生铁的生产，也得到了全部利用。工艺流程如上图 2-7 所示。

此外，公司产生的脱硫渣、铸余渣、清道渣、除尘灰等其他含铁物料也实现了 100%的综合利用。高品位的脱硫渣、铸余渣、清道渣等主要作为冶金原料用于电炉铁钢，低品位的经提质与铁矿配矿返回高炉。除尘灰则用作冷压块、造渣剂等冶金辅料的制作中。

治理效果:

表2-4 高钛重矿高炉渣利用效果

固废名称	年利用量/万吨	综合利用率	实现产值/万元	执行标准
高钛重矿高炉渣	300	100%	8000	GB/T 14684-2022《建筑用砂》 DB51/T 1928-2014《高钛重矿渣混凝土 施工技术规范》

表2-5 转炉钢渣利用效果

固废名称	年利用量/万吨	综合利用率	实现产值/万元	利用方向
转炉钢渣	40	100%	3000	水泥、建材原料、喷砂磨料、钒产业 原料

案例照片:



图 2-8 高钛重矿高炉渣综合利用产品



图2-9 转炉钢渣综合利用产品

案例三：尾矿污染防治

项目名称：凉山某股份有限公司尾矿污染防治项目

项目规模：尾矿库设计库容 1586.38 万 m³

技术工艺：

1.尾矿源头减量

针对矿石“贫细杂”性质，公司研发了“低碱度高浓度浮选关键技术”“稀贵金属综合回收利用”等多项核心专利。在稳定入选粒度情况下，在铜钼混选时，减少石灰添加量，保持 pH 值在 8~9，同时提高浮选浓度至 40%以上，通过增加铜钼混选粗扫选浮选时间，降低抛尾，在精选区增加一次精选，保证精矿品位，最终在原矿品位下降 20%的情况下，实现了铜精矿品位稳定在 24%，铜选矿回收率达到 93%，同时显著提高了铜精矿中伴生稀贵金属的含量，技术指标处于国内先进水平。

2.尾矿库污染整治

公司尾矿属Ⅱ类一般工业固废，主要为选矿厂生产铜、铁、钼、钴精矿后剩余的尾矿，采用湿法排放，堆存在凉山州绿房箐沟尾矿库。

该尾矿库属山谷型尾矿库，二等库，二级环境监管等级，初期坝为透水堆石坝，上游法筑坝。

尾矿库设施建设完善，采用独立管网对渗滤液单独回收，实现了坝面雨污完全分流，有效杜绝了生态环境安全潜在风险。分段修建有3个总容量900立方米的应急事故池，建立了一整套全闭合渗滤液回收系统，尾矿废水持续实现全循环回用，达到“零排放”。

尾矿库环境污染监测系统规范，设置有表面位移、深层水平位移、浸润线等多个在线监测点，将尾矿库库内排洪井，渗滤液收集池等4个重点监控点位接入凉山州尾矿库综合监管平台，实现了尾矿库雨污分流设施视频在线监控和环境安全应急调度实时管控，通过利用物联网信息集成手段，把现场部署应用监测设备的实时数据进行采集、存储、上报，平台端根据后台预设的计算逻辑和处理规则，自动输出最新监测项目数据成果，一旦异常平台可及时响应进行报警并通知企业各层级管理者，以便及时启动突发环境事件应急预案，有效防范环境风险。

针对尾矿库所处位置土壤质量差、堆积子坝风沙扬尘难治理、子坝复绿效果差的难题，创新采用“喷淋降尘及灌溉绿化系统”“薄膜覆盖法”等综合性举措，架设供水管道2300多米、安装喷灌喷头800多个、在覆膜下植绿200多亩，彻底解决了子坝抑尘复绿难题，碧草青青，绿意盎然，成效突显。

治理效果:

1.尾矿源头减量

通过优化现场选矿工艺流程和药剂添加制度，石灰添加量下降约三分之二，年减少石灰加入量 3500 吨；黄药量下降三分之一，每年少用 30 吨；硫化钠用量下降 20%，每年用量降低 340 吨左右，尾矿 pH 值由设计时大于 9 长期保持在了 8 左右，有效降低了尾矿本身的生态环境风险。

选矿技术指标在原基础上提高，铜回收率提高 1%，铜精矿中金、银等贵金属品位都有较大提高，尾矿产率降低 1 个百分点，每年减少尾矿量约 1 万立方米，在尾矿库生命周期内实现尾矿减量约 10 万吨。同时，尾矿浮选药剂加入量及尾矿浆产生量的降低，有效减少了污染物对环境的影响。

2.尾矿库污染整治

通过运用尾矿库视频监控系统、科学规范布设地下水监测井，实现了对绿房箐沟尾矿库污染防治设施和环境数据“更精准”监管，在每年开展的 12 次尾矿库地下水、12 次坝下渗滤液、1 次周边土壤监测中，铅、镉、汞、砷、铬等重点监测因子均稳定达标。尾矿水经尾矿库后的渗滤液指标均明显下降，总铜从 $2.3 \times 10^{-2} \text{mg/L}$ 下降至 $5.51 \times 10^{-3} \text{mg/L}$ ，氨氮从 0.501mg/L 下降至 0.060mg/L ，更大限度地降低了尾矿库特征污染物对周边环境可能造成的环境污染。

通过一系列尾矿库污染防治措施的落实，尾矿废水持续实现全循环回用，每年减少从金沙江生产取水量 50 万立方左右，实现污染防治年增收经济效益 300 余万元，尾矿库生命周期内增收 2000 余万元。

案例照片：



图2-10 凉山某绿房箐沟尾矿库雨污分流



图2-11 凉山某房箐沟尾矿库薄膜覆绿法



图2-12 凉山某房箐沟尾矿库在线监测及应急系统

案例四：尾矿综合利用

项目名称：攀枝花市某有限公司全尾矿深度回收利用项目

项目规模：利用某选钛厂选钛尾矿 760 万 t/a

技术工艺：

尾矿经直线筛隔渣后进入除铁磁选；除铁磁选机选别后得到选铁粗精矿经磨矿-分级-弱磁精选-精矿脱水后得到次铁精矿产品；除铁磁选机选别后的尾矿经强磁选-磨矿-分级-二次除铁-二段强磁选-浮选-精矿脱水后得到钛精矿产品。选别过程中的尾矿经处理后作为循环水返回生产流程或通过尾矿三泵站输送至尾矿坝。

治理效果：

通过资源综合利用从尾矿中选别出铁精矿约 15 万 t/a，平均品位达 50.29%，实现产品产值约 2500 万元/a。产出钛精矿约 20 万 t/a，平均品位达 47.24%，实现产品产值约 42000 万元/a，实现了一般工业固体废物“减量化”“资源化”。

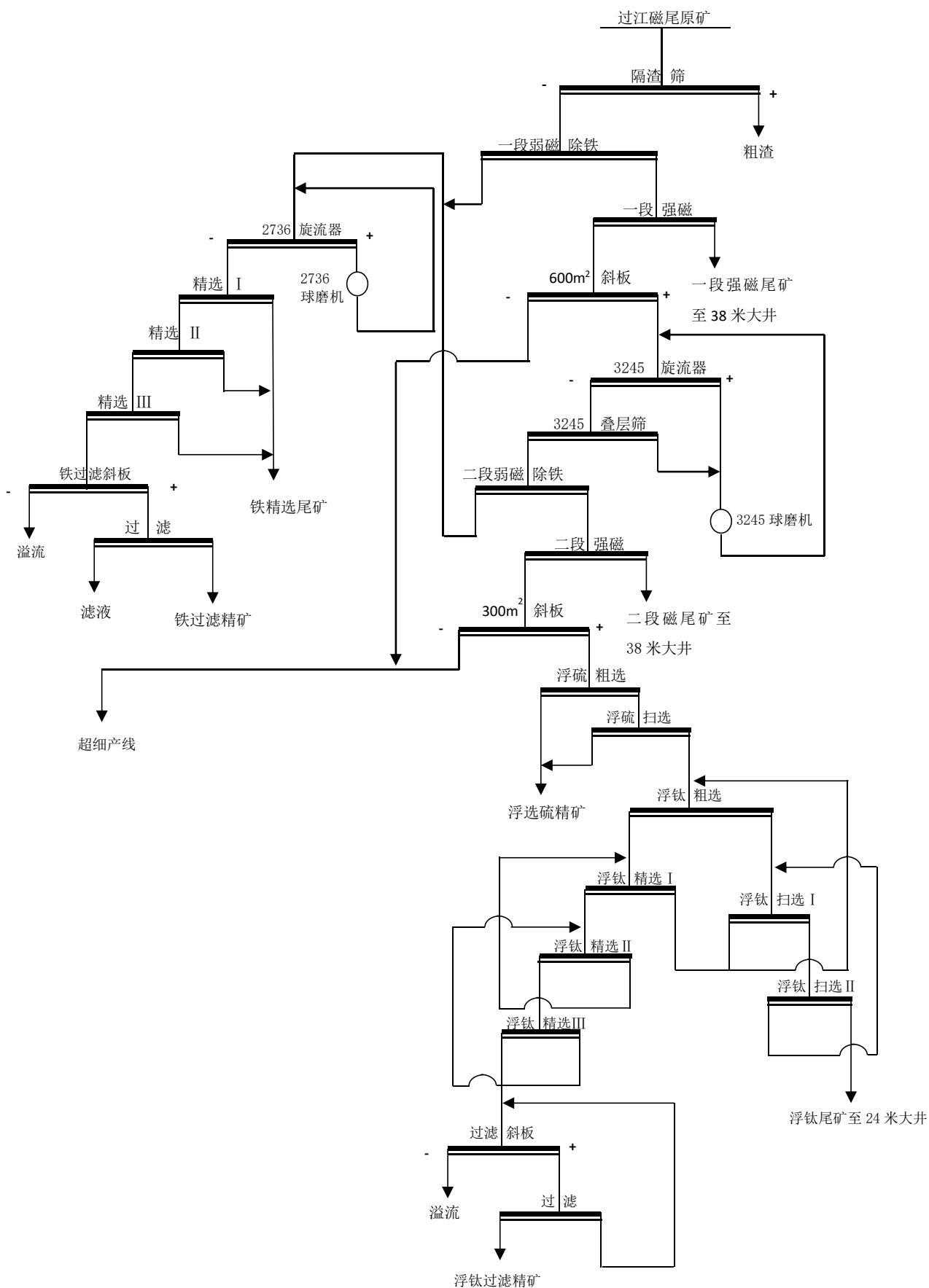


图2-13 选钛尾矿复选工艺流程图

案例照片：



隔渣除铁弱磁机



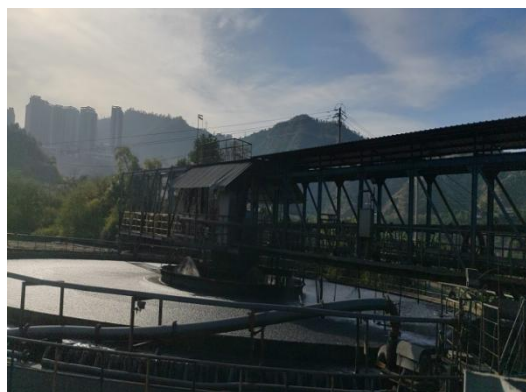
浮选机



浮选厂房



3245 球磨机



24m 大井



高梯度磁选机

图2-14 攀枝花市某有限公司尾矿复选系统



铁精矿产品



钛精矿产品

图2-15 攀枝花市某有限公司尾矿复选产品

五、结论与展望

（一）结论

四川省一般工业固体废物产生量大，预计到 2025 年将接近 2 亿吨。近年来，一般工业固体废物综合利用率不断提高，堆存量逐年下降。在利用方面存在利用产品品质及附加值较低、建材产品出路受限等问题；在处置方面存在部分堆场由于历史原因选址不规范、设计建设不规范、整治难度较大，部分堆场运行管理不规范、防范环境风险能力薄弱、污染防治措施不到位、监管与应急体系尚待完善等问题。

（二）展望

为防治一般工业固体废物环境污染风险，还需在以下方面加强：

1.推动源头减量

进一步加强固体废物排污许可证管理，加强源头监管控制固体废物产生量。优化产业结构减少一般废物产生源，依法依规推动落后产能退出。强化全生命周期理念，推行工业产品绿色设计，推动技术升级降低固体废物排放强度。切实强化企业主体责任，落实“废物即产品”的理念，鼓励磷化工等企业进行清洁生产工艺改造，紧扣磷石膏

等废物前端、中端、末端等关键环节，推进全链条治理、综合性防治，降低磷石膏等废物单位产量、堆存量的同时提高废物品质，便于后续高价值综合利用。

2.规范收贮运管理

严格落实《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》和《一般工业固体废物管理台账制定指南（试行）》要求，加强一般工业固体废物源头分类收集，规范建立一般工业固体废物管理台账。规范建设一般工业固体废物贮存设施，实现一般工业固体废物分类安全贮存。全面强化出入库登记管理、运输环节信息跟踪和末端处置情况掌控，加强跨省转移审批备案，加大运输车辆及单位管控力度。

3.推进规模高效综合利用

加快推进钒钛磁铁矿尾矿（共伴生矿）、粉煤灰、煤矸石、冶炼渣、工业副产石膏等一般工业固体废物在有价组分提取、建材生产、市政设施建设、井下充填、生态修复、土壤治理等领域的规模化利用。着力提升一般工业固体废物在生产纤维材料、微晶玻璃、超细化填料、低碳水泥、固废基高性能混凝土、预制件、节能型建筑材料等领域的高值化利用水平。

加大关键共性技术研发和推广，促进一般工业固废高价值产品“产学研”深度融合。加强磷石膏等工业固废利用税收优惠、财政补助等政策支持。制定工业固废利用相关产品和工程应用技术规范，以及增加人类健康和环境保护相关技术指标，加强磷石膏等工业固废利

用领域的操作技术规程及环境风险评估规范等标准体系建设。加强工业固废利用产品宣传，在全社会倡导循环经济和绿色生产。

4.防范处置贮存设施环境风险

加强尾矿库等一般工业固体废物贮存处置堆场的规范化建设和管理，强化运行期堆场环境污染与安全事故隐患排查治理，开展环境监测和土壤环境风险评价，对存在隐患的实施治理。推动环境与安全在线监测、应急协同等联动；强化封场期堆场环境监测，加快闭库治理，制定闭库治理方案，高标准推进库区道路改造、覆土复绿、扬尘污染治理、渗漏处理等工作。探索研究尾矿库等堆场在产、闭库污染防治实施方案、技术指南制定，开展环境与安全风险防范多方面技术攻关和技术创新，组建省级污染防治专家团队，定期开展技术帮扶，解决污染防治突出问题。

第三章 四川省危险废物利用与处置技术

全省对危险废物利用处置的重视程度逐年提高，各级生态环境系统不断提升危险废物规范化环境管理水平，各地企业对危险废物申报登记等管理制度执行意识不断提升，危险废物申报单位覆盖面逐步扩大，危险废物产生、收集、贮存、利用处置底数进一步摸清，全面推进危险废物精细化管理。

危险废物减量化、资源化、无害化水平不断提升，根据危险废物的特性，采用焚烧处置技术、固化/稳定化处置技术、资源化利用技术、安全填埋处置技术、水泥窑协同处置技术等处置技术，实现了全省危险废物的安全利用处置，有效提升了危险治理体系和治理能力现代化水平，保障了全省经济社会良好发展。

一、全省危险废物产出现状

自2014年开始，全省危险废物产生量呈逐年增长态势，2022年产生量604.66万吨，危险废物主产区主要集中在成都平原经济区（45.5%）和攀西地区（39.4%），产生量比较大的地区主要集中在攀枝花（35.6%）、德阳（14.9%）、成都（8.7%）、雅安（8.7%）、绵阳市（5.3%）。危险废物产生量自2014年开始逐年增长如图3-1所示，主要是由于全省各级环保系统对危险废物的申报登记管理水平不断提高，申报单位数量不断增加；此外经济不断增长，社会不断发展，也是危险废物产生量不断增加的主要原因之一。

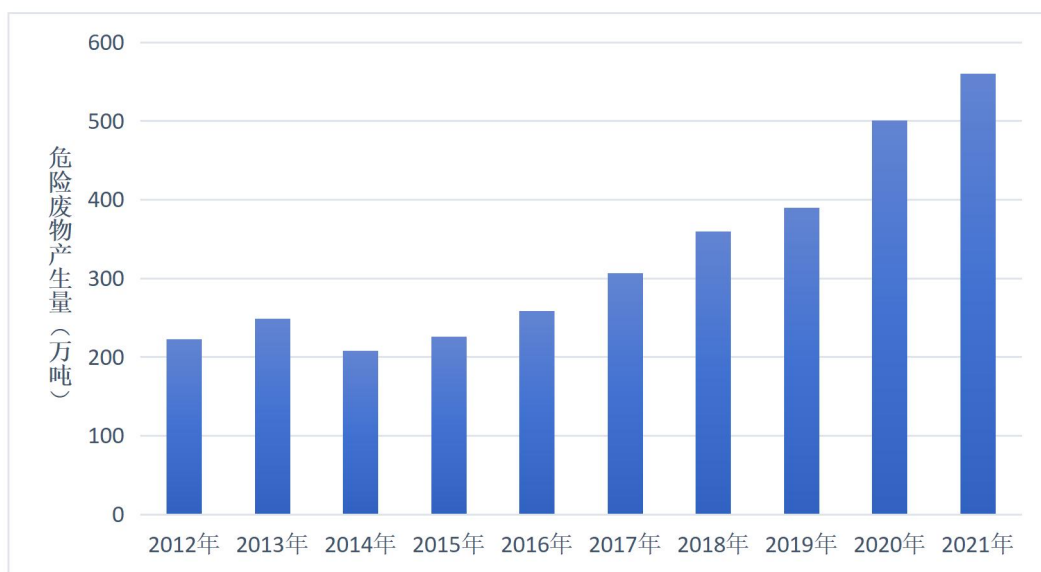


图3-1 2012—2021年四川省危险废物产生总量变化趋势

(注：数据来源于《四川省危险废物申报登记技术报告(2021年度)》)

2020年—2021年度四川省各市(州)危险废物产生单位数量统计如表3-1所示。

表3-1 2020年—2021年四川省各市(州)危险废物产生单位数统计表

市(州)	2020年		2021年	
	产生单位数 (个)	百分比 (%)	产生单位数 (个)	百分比 (%)
成都市	11512	36.07	15242	34.94
绵阳市	1383	4.34	2115	4.85
自贡市	1142	3.58	1380	3.16
攀枝花市	1302	4.08	1510	3.46
泸州市	833	2.61	1493	3.42
德阳市	1601	5.02	1827	4.19
广元市	581	1.82	724	1.66
遂宁市	802	2.51	1186	2.72
内江市	714	2.24	1149	2.63
乐山市	1371	4.30	1915	4.39
资阳市	640	2.00	856	1.96
宜宾市	1052	3.30	1843	4.22
南充市	1528	4.79	2025	4.64
达州市	1226	3.84	1427	3.27
雅安市	599	1.88	858	1.97
眉山市	1247	3.91	1820	4.17

市（州）	2020 年		2021 年	
	产生单位数 （个）	百分比 （%）	产生单位数 （个）	百分比 （%）
广安市	733	2.30	1046	2.40
巴中市	1016	3.18	1211	2.78
阿坝州	788	2.47	1176	2.70
甘孜州	529	1.66	846	1.94
凉山州	1313	4.11	1971	4.52
总 计	31913	100	43260	100

（注：数据来源于《四川省危险废物申报登记技术报告(2021年度)》）

2021年度四川省危险废物产生单位在各市（州）的分布如图3-2所示。

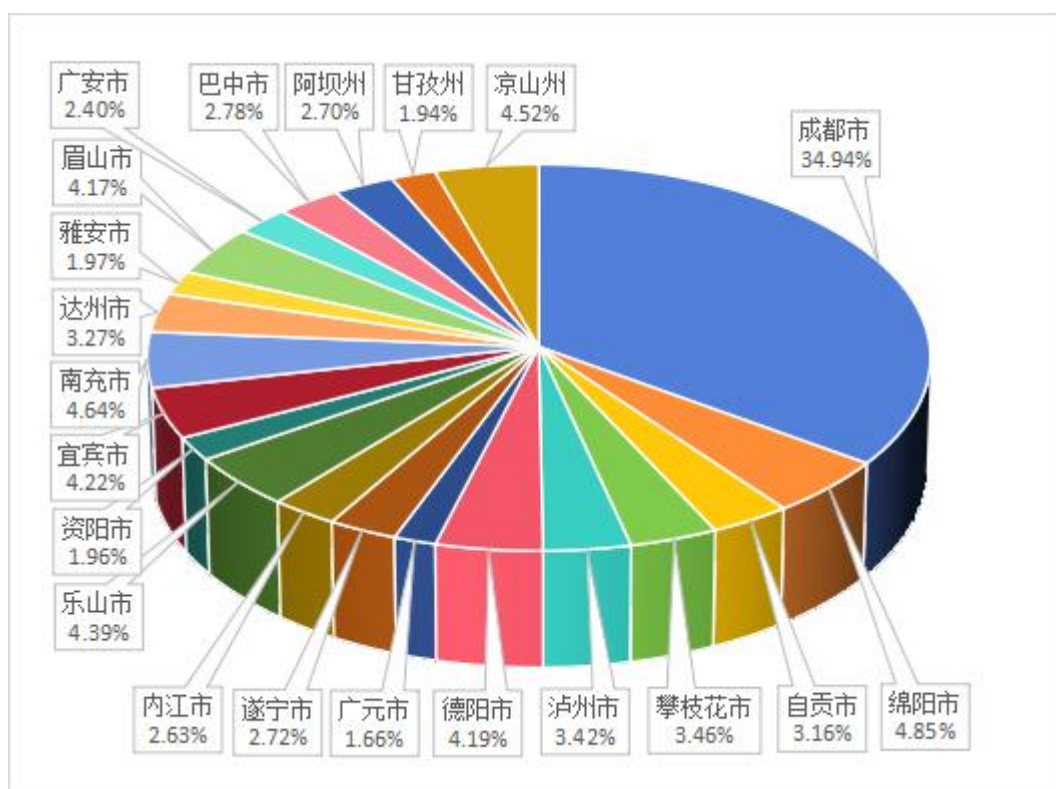


图 3-2 2021 年度四川省危险废物产生单位在各市（州）的分布

（注：数据来源于《四川省危险废物申报登记技术报告(2021年度)》）

不同类别危险废物产生情况：产生量排名前5的依次为HW34废酸（61.4%）、HW48有色金属冶炼废物（8.7%）、HW18焚烧处置残渣（8.4%）、HW08废矿物油与含矿物油废物（6.3%）、HW11精馏残渣（5.6%），占总产生量的90.4%。

二、危险废物处理处置技术水平与需求

（一）危险废物处置能力情况

截止2022年12月31日，全省建有15个危险废物集中处置项目（共建有柔性填埋场12座，刚性填埋场9座），5个水泥窑协同处置危险废物项目。全省危险废物集中处置能力达到79万吨/年（经营能力，以下均是），水泥窑协同处置能力45.5万吨/年。全省危险废物综合利用单位60个，利用能力达到396.7万吨/年。总体上与危险废物2022年产生量604.66万吨、利用处置需求（2022年委外利用处置量184.32万吨）匹配，能力充足。建成医疗废物集中处置企业60家，处置能力达14.99万吨/年。确定30个生活垃圾焚烧设施，5个危险废物集中处置设施作为医疗废物应急协同处置单位，最大协同应急处置能力达2019吨/天，21个市（州）和偏远县（区、市）配置了42台移动式医废处置车。建成了医疗废物集中处置、协同处置、应急处置、跨区域处置相结合的“四位一体”医疗废物处置体系，确保医疗废物监管服务和安全处置“两个百分之百”。全省有铅酸蓄电池收集经营单位32个，收集能力73.2万吨/年。全省有集中收集经营单位11个，收集经营能力55000吨/年。

（二）危险废物处理处置技术

危险废物处理处置方式主要包括：集中处置、协同处置、综合利用。

1.集中处置

截至2022年12月31日，成都市（龙泉驿、简阳）、自贡市、攀枝花

花市、泸州市、绵阳市（涪城、盐亭）、遂宁市、乐山市、南充市、宜宾市、广安市、达州市、眉山市、资阳市等地建成15个危险废物集中处置设施项目。

截至2022年12月31日，宜宾市建成1个地级市医疗废物集中处置设施项目，广安市、遂宁市、凉山州等地建成3个市级医疗废物集中处置设施扩能项目，蓬溪县、巴塘县、白玉县、稻城县、得荣县、德格县、九龙县、理塘县、色达县、石渠县、新龙县建成11个医疗废物集中处置设施项目。

2.协同处置

截至2022年12月31日，已建成绵阳、内江、德阳、自贡、广安5个市水泥窑协同处置项目，开展油基泥浆、冶炼废渣、工业污泥等危险废物协同处置。探索危险废物利用处置新途径，支持依托有条件的企业开展钢铁冶炼等工业窑炉协同处置生活垃圾焚烧飞灰等危险废物试点。

3.综合利用

截止2022年12月31日，全省有危险废物综合利用单位60个，综合利用能力396.7万吨/年。新增油基泥浆、废机油格、废荧光灯管、含汞废物、煤焦油、含铬废物等废物类别，淘汰废矿物油、废切削液等落后产能 24 万吨/年。

（三）危险废物利用处置技术需求

1.危险废物减量化

危险废物减量化技术是危险废物治理的重要方向之一。当前，四

川省开展危险废物处置的大部分企业，对危险废物处置方式是填埋或焚烧。这种处置方式不仅存在安全环保隐患，而且会造成环境污染。建议加强危险废物减量化技术的研发与应用，采取生产工艺改进、设备优化、废物分类收集等措施，实现危险废物减量化目标，降低危险废物数量和危害程度，提高资源利用效率。

2. “点对点”危险废物利用

按照《国家危险废物名录（2021年版）》附录《危险废物豁免管理清单》要求，在环境风险可控的前提下，实行危险废物“点对点”定向利用，即：省内一家危险废物产生单位（以下简称“产废单位”）产生的一种危险废物，作为省内另一家单位（以下简称“利用单位”）环境治理或工业原料生产的替代原料进行定向利用，该利用过程不按危险废物管理（即利用单位豁免持有危险废物经营许可证），但在收集、贮存、运输等环节严格按照危险废物管理。

（四）危险废物资源化利用

危险废物资源化利用是危险废物治理的重要手段之一。危险废物得不到合理的处置和利用，导致资源浪费和环境污染。建议危险废物资源化利用需要从两个方面入手。一是依据危险废物本身性质和资源利用规律，建立完备的危险废物资源分类体系，实现危险废物资源再利用；二是在固体废物形成和管理的全过程中，在设计、生产与选择材料、产品、技术等方面，强化减量化、资源化的理念，规范有害物质的使用和减少其产生量。

三、危险废物利用处置技术介绍

目前，我国危险废物处置技术以减量化、资源化、无害化为原则，应用比较广泛的有：焚烧处置、固化/稳定化处置、综合利用（资源化）、物理化学处置和安全填埋处置以及水泥窑协同处置及等离子体气化熔融技术等。

（一）焚烧处理技术

焚烧法是高温分解和深度氧化的综合过程。焚烧处理属于一种热处理技术，因其具有减容、减量、无害化程度高、可回收能量高等特点，是危险废物处置最有效的手段之一。通过焚烧可以使可燃性的危险废物氧化分解，达到减少容积，去除毒性，回收能量及副产品的目的。该技术能处理除放射性废物和爆炸性废物以外的任何固态、液态、气态可燃危险废物，适应性强，而且还可提供热能和回收重金属等。焚烧法适用于处置当前经济和技术条件限制下、不能再循环、再利用或直接安全填埋的危险废物。焚烧可以处置含有热值的有机物并回收其热能，也可以通过残渣熔融使重金属元素稳定化，是同时实现减量化、资源化、无害化的一种重要处置手段。

危险废物的焚烧过程比较复杂。由于危险废物的物理性质和化学性质比较复杂，对于同一批危险废物，其组成、热值、形状和燃烧状态都会随着时间与燃烧区域的不同而有较大的变化，同时燃烧后所产生的废气组成和废渣性质也会随之改变。因此，危险废物的焚烧设备必须适应性强，操作弹性大，并在一定程度上有自动调节操作参数的能力。大部分有机危险废物都可用焚烧法处置，而且最好是用焚烧法

处置。而对于某些特殊的有机性危险废物，只适合用焚烧法处置，如石化工业生产中某些含毒性中间副产物等。焚烧法的优点在于能迅速而大幅度地减少可燃性危险废物的容积。如在一些新设计的焚烧装置中，焚烧后的废物容积只是原容积的5%或更少。一些有害废物通过焚烧处置，可以破坏其组成结构或杀灭病原菌，达到解毒、除害的目的。此外，通过焚烧处置还可以提供热能。

焚烧法的缺点：一是危险废物的焚烧会产生大量的酸性气体和未完全燃烧的有机组分及炉渣，如将其直接排入环境，必然会导致二次污染；二是此法的投资及运行管理费高，为了减少二次污染，要求焚烧过程必须设有控制污染设施和复杂的测试仪表，这又进一步提高了处置费用。

（二）固化/稳定化处置技术

固化/稳定化处置目的是使危险废物中的所有污染组分呈现化学惰性或被包容起来，以便运输、利用和处置，减低废物的毒性和可迁移性，同时改善被处置对象的性质。目前常用的固化/稳定化有水泥固化/稳定化、石灰固化、塑性材料固化、有机聚合物固化、熔融固化、自胶结固化等技术，目前所采用的固化/稳定化方法一般只能用于处置一种或几种类型的废物，迄今为止尚未研究出一种适于处置任何类型危险废物的最佳固化/稳定化方法。

（三）资源化利用技术

综合利用（资源化）主要是采用物理化学处理技术，实现危险废物中可利用物质的分离与回收。当前，对于危险废物的资源化利用主

要集中在废旧金属、废油、废有机溶剂、废酸废碱、电子废物等方面，通过不同废物种类来确定利用方法。例如，废旧金属主要通过中和、还原、沉淀分离、浓缩结晶等方法；电子废物回收利用主要为拆解、磁选、破碎、电选等物理方法；废有机溶剂和废油回收主要为冷却、蒸馏等方法。就总体现状来看，我国危险废物的回收利用效率还比较低，在确定处理处置技术时，对回收利用的研究还比较少，并未作为核心进行研究。这就导致实际工作中，不仅不能保证回收利用效率，甚至还会因为处理不及时或者不当，造成资源浪费以及二次污染，仍需要做深入的研究。

（四）安全填埋处置

安全填埋处置是当前国内外普遍认为对危险废物最终处置工序，可以有效减少甚至消除废物存在的危害，一般在对废物进行各种方法处理后，才进行这种处理。在对危险废物进行填埋前，必须结合其特点来对其进行预处理，通过固化剂进行固化、稳定化处理，避免填埋后有害废物的浸出，避免浸出液对周边土壤、水源等产生污染。安全填埋的核心为防渗系统，既要杜绝危险废物渗滤液污染地下水，又要避免危险废物污染环境，具有安全性高、工艺简单、可操作性强等特点。

（五）水泥窑协同处置技术

水泥窑协同处置是国内外焚烧处理危险废物及城市生活垃圾的重要途径，其是利用水泥窑的高温环境及水泥熟料的固化作用，实现对危险废物的无害化处置。水泥窑协同处置可用于处理危险废物、生

活垃圾（包括废塑料、废橡胶、废纸、废轮胎等）、城市和工业污水处理污泥、动植物加工废物、受污染土壤、应急事件废物等固体废物。但是，放射性废物、爆炸物及反应性废物、未经拆解的废电池、废家用电器和电子产品、含汞的温度计、血压计、荧光灯管和开关、铬渣、未知特性和未经鉴定的废物禁止入窑进行协同处置。除此之外，入窑固体废物应具有相对稳定的化学组成和物理特性，其重金属以及氯、氟、硫等有害元素的含量及投加量应满足《水泥窑协同处置固体废物污染防治技术规范》（HJ662-2013）的要求。

协同处置运行操作的技术要求主要包括：固体废物的准入评估、固体废物的接收与分析、固体废物的贮存以及预处理、固体废物在厂内的运输、固体废物的投加等，具体详见《水泥窑协同处置固体废物污染防治技术规范》（HJ662-2013）和《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》（GB30485-2013）。

（六）等离子体气化熔融技术

等离子体气化熔融技术主要是借助等离子体所具有的能量，在高温缺氧的状态，对有机物实现高温裂解，主要生成一氧化碳、氢气；同时，在高温下，无机物变成熔融状态，最后生成无毒化的炉渣（玻璃体）的一个过程。等离子体熔融技术工艺在处理前一般要进行预处理，例如机械脱水、压实等，主要是对危废进行稳定化、均质化，再通过螺旋进料将危废输送至等离子汽化炉，使其中的大分子有机物在高温条件下迅速反应分解为小分子可燃气体（CO、H₂、CH₄等），该反应过程中，氧分的多少可以由氧化风进口阀门控制。而无机物则

在高温作用下，熔融形成熔浆。熔浆积累到一定量后通过出浆通道引出等离子体炉。如果直接水淬，则可得无毒无害的玻化渣。等离子熔融阶段产生的气体从炉子上方排出，经过余热回收、除尘、脱硝、脱酸等设备进行达标排放，该过程中设置烟气在线监测CEMS系统，该系统主要是对烟气进行实时检测，后端设置烟气脱白系统，使焚烧产生的烟气的各项标准均满足相应的要求。

该工艺过程产生的玻璃体残渣大大降低了炉渣的体积，相关研究证明，该产物的各项浸出毒性的检测均满足要求。

（七）医疗废物处置技术

1.医疗废物消毒处理

以消毒处理方式杀灭医疗废物中病原微生物的医疗废物处理，使其消除潜在的感染性危害的过程。消毒处理技术主要包括高温蒸汽消毒、化学消毒、微波消毒、高温干热消毒等。高温蒸汽消毒是利用高温蒸汽杀灭医疗废物中病原微生物，使其消除潜在的感染性危害的处理方法。化学消毒是利用化学消毒剂杀灭医疗废物中病原微生物，使其消除潜在的感染性危害的处理方法。微波消毒是利用微波或微波与高温蒸汽组合作用杀灭医疗废物中病原微生物，使其消除潜在的感染性危害的处理方法。高温干热消毒是利用高温干热空气杀灭医疗废物中病原微生物，使其消除潜在的感染性危害的处理方法。

2.医疗废物集中焚烧处置

医疗废物焚烧处置是医疗废物在高温条件下发生热分解、燃烧等反应，实现减量化和无害化的过程。医疗废物集中焚烧处置工程适用

于《医疗废物分类目录》中的感染性废物、损伤性废物、病理性废物、药物性废物和化学性废物。医疗废物集中焚烧处置工程焚烧炉应由一燃室和二燃室组成。一燃室实现医疗废物的热解、燃烧、燃烬，二燃室实现未完全燃烧气体和热解气体的充分燃烧。焚烧炉高温段温度应 $\geq 850\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，烟气停留时间应 $\geq 2\text{ s}$ ，焚烧残渣热灼减率应 $< 5\%$ 。

危险废物处理处置主流技术具体见表3-2。

表 3-2 危险废物处理处置主流技术

处理处置技术类别	处理方法	技术原理	技术特点	应用领域
无害化处置技术	填埋	刚性填埋、柔性填埋	作为最终处置容纳场所	相比焚烧和填埋等传统处理方式，物化具有更大的优势，可处理炭化废弃物、有机溶剂等危险废物；化学废液、废水等有机危险废物；氨水、废酸、废纸等工业领域的危险废物
	焚烧	高温焚毁有害物质	减量化显著，残渣需要填埋处置	
	物化	酸、碱中和以及稳定化处理	显著降低废物的危害性	
资源化利用技术	飞灰资源化利用	水泥窑共处置、高温熔融	制备水泥、建材等	常应用于处理废旧金属、废油、废有机溶剂、废酸废碱、电子废物等
	活性炭再生利用	化学、萃取、置换、热再生	可获得再生活性炭产品	
	废催化剂再生利用	湿法/干法再生	催化剂中贵金属和载体回收利用	
	废矿物油再生利用	蒸馏、精制	获得润滑油基础油等产品	
	废锂电池回收	机械分离、高温、溶剂、无氧裂解	获得电池生产原料	
水泥窑协同	原料替代	作为水泥生产原料替代	可获得水泥产品	应用于处理危险废物、生活垃圾（包括废塑料、废橡胶、废纸、废轮胎等）、城市和工业污水处理污泥、动植物加工废物、受污染土壤、应急事件废物等固体废物
	燃料替代	作为水泥生产燃料补充	可降低水泥生产能耗	
	其他不可替代	利用水泥窑高温焚毁有害物质	作为危险废物处置的有效手段	

四、危险废物利用处置技术典型应用案例

案例一：分段精准控温抑裂解的固态分子分馏技术

项目名称：珙县某危险废物治理有限责任公司油基岩屑综合利用项目

项目规模：珙县某 20 万吨油基岩屑综合利用项目、四川某嘉业 20 万吨油基岩屑综合利用项目

投资规模：珙县某 20 万吨油基岩屑综合利用项目总投资 1.065 亿元，四川某嘉业 20 万吨油基岩屑综合利用项目总投资 1.35 亿元。

技术原理：主要运用热相分离技术，系统设备主要由动力设备、密体密封、燃烧设备、安全保护设备、温度检测设备、余热回用设备组成，利用天然气燃烧产生的高温烟气间接加热。通过自动分段精准控温，抑制厌氧间接加热腔内油基裂解，进行油基分段分馏，实现固液分离、油水分离，分离回收的油可作为燃料利用，产生的不凝气体经净化燃料燃烧，剩余固渣中含油率小于1%，根据废物组分实现了梯级资源化利用。

治理效果：

采用热相分离技术对油基岩屑进行处理。热相分离技术采用间接加热的方式，对含油污染物进行加热，将其中的油、水等成分汽化，热相分离排出的气相喷淋冷凝后进入分离装置，分离回收的油可作为燃料利用，分离后的水可以循环使用，多余的水通过净化处理后输送到污水处理厂进行安全处置，热相分离处理过程中产生的不凝气体经净化处理可作为燃料燃烧，整个系统最终排放的只有处理后固相和烟

气，经处理后固相满足相关环保要求，外排烟气排放满足要求。

该项目处理的油基岩屑的含油率在5%左右，含水率在8%左右。油基岩屑处置后产物的含油率在1%以下，含水率在0.5%以下。处理规模20万吨/年，油基岩屑处置后产物含油率降至1%以下。提出的基础油达到相应的燃料油标准，外售综合利用；剩余的处置后产物用于制砖、建筑材料等综合利用。

技术可达到的相关标准：

（1）生产废水处理后达到《城市污水再生利用工业水质》（GB/19923-2005）；

（2）氟化物执行工业炉窑固体废物污染物排放标准《四川省污染源固体废物挥发性有机物排放标准》（DB51-2377-2017）；

（3）氯化氢执行《固体废物污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中的二级相应标准；

（4）出料间（渣仓）粉尘排放执行《固体废物污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中的二级相应标准；

（5）厂内 VOCs 无组织排放执行《挥发性有机物无组织排放控制标准》（GB37822-2019）；

（6）挥发性有机物无组织监控点执行《四川省固定污染源固体废物挥发性有机物排放标准》（DB51/2377-2017）；

（7）颗粒物无组织监控点执行《固体废物污染物综合排放标准》（GB1629-1996）；

（8）处理后的再生油执行的《国家燃料油的标准》

(GB17411-2015)；

(9) 处理后的再生油同时达到《再生燃料油企业标准》
(Q/SCHJJY.3-2019)；

(10) 油基岩屑处理产物达到《油基岩屑处理产物》
(Q/SCHJJY.1-2019)。

技术创新性：

采用隔绝空气密闭无氧的环境下对物料进行加热，通过主炉体密封、进出料密封、氮气注入保护、氧含量监测等多种方式配合，确保物料在无氧环境下发生脱附反应，避免了在有氧环境下物料不完全燃烧产生二噁英。

五、结论与展望

(一) 结论

全省危险废物规范化管理水平较高，从申报登记、运输贮存、处理处置、综合利用等过程均严格按照相关法律法规和标准实行了规范管理。截止到2022年12月31日，全省危险废物集中处置能力达到132万吨/年（含水泥窑协同处置能力和危险废物集中处置能力）、危险废物综合利用能力达到421万吨/年，总体上与危险废物2022年产生量和利用处置需求相匹配，能力充足。已实现危险废物信息化全过程监管，通过智慧监管平台，利用信息化手段对危险废物产生、收集、贮存、运输、利用和处置实施全过程监管，实现危险废物全生命周期管理信息化、智能化监管。

（二）展望

1.进一步明确水泥窑协同处置和危险废物集中处置的合理定位

全省水泥窑协同处置能力（约45万吨/年）和危险废物集中处理能力（约90万吨/年）逐渐提升，但二者之间在危险废物处理领域的定位还需进一步明确，合理定位水泥窑协同处置和危险废物集中处置之间的关系，避免恶性竞争。

2.建议制定废矿物油综合利用产品标准和修订再生利用技术导则

省内废矿物油综合利用技术水平有待进一步提升，从产生、贮存、转移、利用各个环节都需要更行之有效的规范和要求，尤其是废油回收过程中的管理要求和再利用过程中的工艺技术要求需要更加明确，规范市场，促进行业发展与进步。《废润滑油回收与再生利用技术导则》（GB/T 17145-1997）需要进行适时修订。对收集、贮存、转移过程的要求不明确，造成部分废矿物油不符合利用企业的入厂验收标准，利用企业不能接收，影响了再利用环节的生产，同时也造成废矿物油收集、贮存、转移过程管理混乱。对再生利用环节没有明确技术要求，固体酸精制和白土吸附精制等落后工艺仍被大量使用，部分可能造成严重二次污染。这些问题的存在严重制约了废矿物油综合利用行业的健康、规范发展。

因此，对《废润滑油回收与再生利用技术导则》（GB/T 17145-1997）进行修订，明确废油产生、贮存、转移、利用等各个环节的具体技术和管理要求，对于促进废矿物油综合利用行业的发展与进步，具有非

常重要的现实意义。修订后的国家标准可以给企业和政府部门提供管理和技术依据，引导废矿物油行业规范化、标准化发展。

3.加强危险废物“点对点”定向利用工作的推进

将《危险废物豁免管理清单》所列危险废物或利用过程不满足豁免条件，符合“点对点”定向利用管理要求的危险废物，纳入定向利用管理，进一步拓宽危险废物利用途径。

一是细化利用条件。拟定向利用总量不超过利用单位的经营规模，危险废物特性明确，与利用单位的利用技术、工艺和设施设备相适应，用于环境治理的，不得降低环境治理效果，用于替代生产原料的产品方案及质量要保持一致，利用单位豁免持有危险废物经营许可证。

二是严格申报程序。产生单位会同利用单位共同编制利用方案，进行专家技术论证，取得双方属地生态环境局同意后向生态环境厅备案并向社会公开相关信息。

三是明确运行要求。产生单位和利用单位均执行危险废物管理计划、申报登记、危险废物转移联单等制度，依法及时公开危险废物污染防治信息，建立危险废物管理台账，妥善包装、规范运输，重点区域安装视频监控设施，加强危险废物入厂特性分析，确保定向利用的危险废物符合替代原料质量标准及相关污染防治要求。

4.建议加强生活垃圾飞灰资源化利用

生活垃圾焚烧飞灰的处理处置存在短板，当前，主要以固化填埋为主，但按照传统的进入垃圾填埋场的处理方式能提供的填埋容量越来越有限，建议加大综合利用的扶持力度，比如通过水洗后，灰渣综

合利用制备建材。

5.建议依托现有危废集中处置设施，开展协同处置

当前，现有危废集中处置设施处置能力富裕，可以协同处置部分市政污泥。

6.适当控制新增含油废物综合利用企业数量增长

当前，含油废物特别是油基岩屑综合利用企业的处理能力已大于生产企业含油废物（油基岩屑）产生量，造成原料竞争激烈，不利于综合利用企业的良性发展，建议适当控制新增含油废物综合利用企业的数量。

7.拓展危险废物跨省转移“白名单”合作机制

结合川渝两地结合危险废物跨省转移实际，在环境风险可控的前提下，互增可接受的废物类别和企业，2022年实现了7类危废、29家企业的危险废物跨省转移“白名单”合作机制，进一步畅通危险废物跨省转移的“绿色通道”，进一步扩展危险废物跨省转移“白名单”覆盖范围。

8.进一步提高危险废物管理水平

危险废物处理处置还需要进一步提升管理水平和利用处置技术水平。进一步完善危险废物申报登记系统，地方环保部门加强对危险废物申报登记的监管，加大对危险废物申报登记的宣传力度，加强对危险废物申报数据的审核，加强对危险废物的豁免管理。进一步落实申报单位的主体责任，提高其对危险废物申报登记的重要性认识，提升危险废物专业知识水平等。

第四章 四川省生活垃圾处理处置技术

生活垃圾是指日常生活或者为日常生活提供服务的活动所产生的固体废弃物以及法律法规所规定的视为生活垃圾的固体废物。生活垃圾包括玻璃、纸屑、塑料和餐厨垃圾等，具有来源广泛、成分复杂和产生量大的特点，处理处置难度大。目前，生活垃圾已被认为是影响生态环境的重要污染源之一，其引起的环境问题成为制约社会经济发展的重要因素。

生活垃圾处理处置技术的选择是决定其能否实现减量化、资源化和无害化的核心，也是“无废城市”建设的关键。现阶段四川省常用的生活垃圾处理处置技术包括填埋、焚烧和生物处理等三种。上述技术在处理过程中会产生恶臭、焚烧烟气、渗滤液和焚烧飞灰等二次污染物，若不加以防范，会对周边土壤、水和大气环境造成严重污染。查明垃圾处理过程的污染治理现状，完善污染防治措施，实现生活垃圾的减量化、无害化和资源化，是助力污染防治攻坚战、改善生态环境的重要举措。

一、全省生活垃圾处理处置现状

（一）生活垃圾处理处置现状

随着四川省经济快速发展，城镇化率和人民生活水平不断提高，城市生活垃圾的产生量也不断增加。根据住建部发布的《2021 年城乡建设统计年鉴》，四川省 2021 年城市生活垃圾清运量达到 1267.61 万吨（不含餐厨垃圾），县城生活垃圾清运量也达到 467.36 万吨（不

含餐厨垃圾)。在四川省,生活垃圾清运量较大的城市包括成都市、绵阳市、南充市、泸州市和宜宾市,其中以成都市生活垃圾清运量最为突出,达 548.95 万吨/年。

为实现生活垃圾减量化收集和资源化利用,四川省积极推进生活垃圾分类法规、政策、标准及相关设施体系建设,生活垃圾正由混合收集处理转变为分类收集处理。目前,四川地级以上城市生活垃圾回收利用率已达 33%,成都市、德阳市和广元市 3 个生活垃圾分类重点城市已建成生活垃圾分类处理系统,形成一批示范片区,生活垃圾回收利用率稳定保持在 35%以上。

截至 2021 年底,四川省城市、县城、建制镇和乡村的环卫专用车辆设备总数分别为 14446、4639、6958 和 1172 辆,且在建制镇和乡村中分别已建生活垃圾中转站 3318 和 635 座。18 个地级市生活垃圾收运处置体系覆盖率均达到 100%,阿坝藏族羌族自治州、甘孜藏族自治州和凉山彝族自治州覆盖率达到 90%以上。

四川省高度重视生活垃圾的无害化处理,不断加大资金投入,加强生活垃圾无害化处理设施建设,着力提高生活垃圾的无害化处理能力和水平。截至 2021 年,四川省城市和县城生活垃圾无害化处理率分别为 99.99%和 99.77%,已累计建成生活垃圾无害化处理厂(场)共 150 座,处理能力达 5.98 万吨/日,无害化处理总量为 1733.76 万吨。其中,焚烧处理量为 1370.39 万吨(占比 79.0%),卫生填埋处理量为 317.65 万吨(占比 18.3%),其他方式处理量为 45.72 万吨(占比 2.6%)。可见,焚烧已成为四川省城市和县城生活垃圾无害化处

理的主要方式。

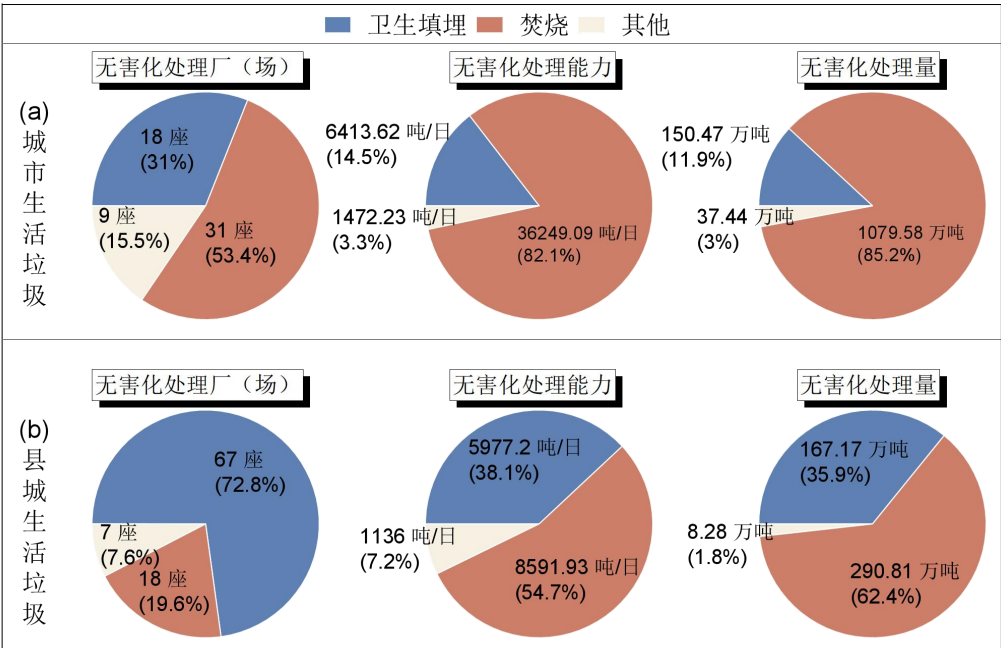


图 4-1 2021 年四川省城市和县城生活垃圾无害化处理技术应用情况
(数据来源: 2021 年城乡建设统计年鉴)

由图 4-1 (a) 可知, 2021 年四川省城市生活垃圾无害化处理厂 (场) 共计 58 座, 其中焚烧厂、卫生填埋场和其他处理厂 (场) 分别有 31、18 和 9 座; 城市生活垃圾无害化处理能力达 44132.94 吨/日, 焚烧、卫生填埋和其他处理能力分别为 36247.09、6413.6 和 1472.23 吨/日; 城市生活垃圾无害化处理量为 1267.49 万吨, 焚烧、卫生填埋和其他处理量分别为 1079.58、150.47 和 37.44 万吨。

由图 4-1 (b) 可知, 2021 年四川省县城生活垃圾无害化处理厂 (场) 共计 92 座, 其中焚烧厂、卫生填埋场和其他处理厂 (场) 分别有 18、67 和 7 座; 县城生活垃圾无害化处理能力为 15705.13 吨/日, 焚烧、卫生填埋和其他处理能力分别为 8591.93、5977.20 和 1136.00 吨/日; 县城生活垃圾无害化处理量为 466.27 万吨, 焚烧、卫生填埋和其他处理量分别为 290.81、167.17 和 8.29 万吨。

2021 年四川省各城市生活垃圾无害化处理量见图 4-2，无害化处理量较大的城市包括成都市、绵阳市、南充市、泸州市和宜宾市。其中，成都市生活垃圾无害化处理量最大，为 548.95 万吨，焚烧、卫生填埋和其他处理量分别为 442.86 万吨（占比 80.7%）、92.95 万吨（16.9%）和 13.14 万吨（2.4%）。

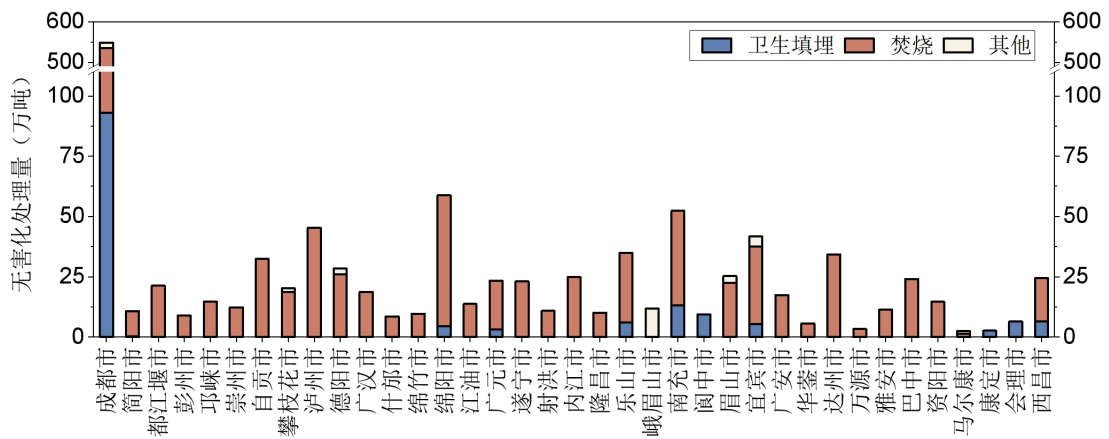


图 4-2 2021 年四川省城市生活垃圾无害化处理量分布情况
(数据来源: 2022 年四川统计年鉴)

四川省因地制宜建立以“户分类、村收集、镇乡转运、市县处理”为主，“片区处理、就地就近处理”为辅相结合的农村生活垃圾治理模式。其中，农村生活垃圾分类形成了“二次四分法”“一次四分法”和“三分类法”等多种模式，已建成蒲江县、丹棱县、朝天区等 9 个全国农村生活垃圾分类和资源化利用示范县(生活垃圾分类减量率达 35%)；农村生活垃圾收运处置体系覆盖全省 96%行政村，基本形成完善的收运处置体系；农村生活垃圾处理采用焚烧、卫生填埋、高低温热解和其他方式，占比分别为 63%、27%、6%和 4%。

（二）餐厨垃圾处理处置现状

2021 年四川省 21 个市（州）政府所在地城市餐厨垃圾产生及处理处置情况见表 4-1。21 个城市餐厨垃圾的产生总量约为 189.23 万吨。其中，成都市的餐厨垃圾产生量最多，为 69.78 万吨；甘孜藏族自治州的餐厨垃圾产生量最少，为 1.13 万吨。

表 4-1 2021 年四川省 21 个市（州）政府所在地城市餐厨垃圾产生及处理处置情况

市州	产生量 (万吨)	处理量 (万吨)	处理率 (%)	主要处理方式及处理量（万吨）			
				焚烧	填埋	利用	其他
成都市	69.78	69.78	100.00	22.79	0.00	46.98	0.00
自贡市	7.30	4.38	60.00	/	/	4.38	/
攀枝花市	2.13	2.13	100.00	0.00	0.00	2.13	0.00
泸州市	3.09	3.09	100.00	1.85	/	1.24	/
德阳市	8.87	8.87	100.00	0.00	6.56	1.52	0.00
绵阳市	7.61	7.61	100.00	0.00	0.00	7.61	0.00
广元市	3.99	3.99	100.00	0.00	0.00	3.99	0.00
遂宁市	9.61	9.61	100.00	1.01	0.00	2.84	/
内江市	5.94	5.94	100.00	/	/	5.94	/
乐山市	10.04	10.04	100.00	4.85	4.21	0.37	0.00
南充市	9.74	9.74	100.00	1.95	0.00	6.82	0.97
眉山市	7.18	6.93	96.00	/	/	6.93	0.25
宜宾市	8.30	8.30	100.00	/	/	/	/
广安市	3.85	3.85	100.00	3.00	/	0.84	/
达州市	8.06	8.06	100.00	2.81	2.30	2.95	0.00
雅安市	3.18	3.18	100.00	0.40	0.53	1.66	0.59
巴中市	7.30	7.30	100.00	3.36	0.73	0.45	2.76
资阳市	5.71	5.71	100.00	/	/	/	5.71
阿坝藏族羌族自治州	4.01	3.95	98.70	0.37	0.11	2.72	0.76
甘孜藏族自治州	1.13	1.13	100.00	/	1.13	/	/
凉山彝族自治州	2.44	2.41	98.88	/	2.41	/	/
合 计	189.23	185.98	/	/	/	/	/

（数据来源：2021 年度四川省各地区固体废物污染环境防治信息公告）

四川省餐厨垃圾处理方式包括焚烧、填埋、利用和其他方式，处理设施建设遵循“集中规模化+分布小型化”模式。2021年，全省建成的餐厨垃圾处理设施已超过77座（含小型分布式餐厨垃圾处理设施），处理能力达5431吨/日，处理量为185.98万吨，处理方式以利用为主。除自贡市、眉山市、凉山彝族自治州和阿坝藏族羌族自治州外，其余城市的餐厨垃圾处理率均达到了100%。

（三）政策法规

2017年，《国务院办公厅关于转发国家发展改革委住房城乡建设部生活垃圾分类制度实施方案的通知》（国办发〔2017〕26号）要求遵循减量化、资源化、无害化原则，实施生活垃圾分类。

为全面贯彻落实国家相关部门关于生活垃圾分类工作的重要部署，四川省政府办公厅印发了《四川省生活垃圾分类和处置工作方案》（川办函〔2019〕69号），明确全省城镇生活垃圾分类模式以“有害垃圾、可回收物、厨余垃圾（也可称为餐厨垃圾，下同）和其他垃圾”为基本类型，确保有害垃圾单独投放，努力提高可回收物和餐厨垃圾的单独投放比例。

2020年，国家发展改革委等部门制定了《城镇生活垃圾分类和处理设施补短板强弱项实施方案》（发改环资〔2020〕1257号），具体提出了四项主要任务：（1）加快完善生活垃圾分类收集和分类运输体系；（2）大力提升垃圾焚烧处理能力；（3）合理规划建设生活垃圾填埋场；（4）因地制宜推进厨余垃圾处理设施建设。

为了推进生活垃圾处理设施补短板强弱项工作，四川省人民政府

印发了《四川省城镇生活污水和城乡生活垃圾处理设施建设三年推进总体方案（2021—2023 年）》（川办发〔2020〕86 号），积极推进既有焚烧处理设施和填埋场提标改造。一方面，全面推进焚烧处理能力建设。其中，生活垃圾日清运量超过 300 吨的地区，加快发展以焚烧为主的垃圾处理方式，到 2023 年基本实现原生生活垃圾“零填埋”；生活垃圾日清运量不足 300 吨的地区，探索小型生活垃圾焚烧设施建设试点。另一方面，稳妥推进生活垃圾填埋场建设，具备焚烧处理能力的地区，原则上不再新建原生生活垃圾填埋场，现有生活垃圾填埋场主要作为应急保障。此外，同步加快飞灰、垃圾渗滤液、残渣处置设施和可回收物分拣、大件垃圾处理设施建设。

2022 年，国家发展改革委等部门发布了《关于加强县级地区生活垃圾焚烧处理设施建设的指导意见》（发改环资〔2022〕1746 号），从强化设施规划布局、加快健全收运和回收利用体系、分类施策加快提升焚烧处理设施能力、积极开展小型焚烧试点、加强设施建设运行监管、探索提升设施可持续运营能力和保障措施等方面提出建议，进一步推进城镇生活垃圾焚烧处理设施建设，加快补齐短板弱项。

二、生活垃圾处理处置技术水平与需求

（一）垃圾分类技术水平

垃圾分类是生活垃圾处理处置的起点，也是解决垃圾处理问题的基础。我国生活垃圾分类多采用有害垃圾、可回收物、厨余垃圾和其他垃圾的“四分法”模式。

四川省城镇生活垃圾分类也以“四分法”为基本类型，在确保有

害垃圾单独投放的同时，努力提高可回收物和厨余垃圾的单独投放比例。此外，鼓励各地农村采取农户初次分类和保洁员二次分拣的“二次四分法”实施生活垃圾分类。

对照《四川省生活垃圾分类和处置工作方案》和生活垃圾分类长期规划，目前四川省生活垃圾分类主要存在以下问题：

（1）当前采用的生活垃圾分类模式与多数城市生活垃圾均采用末端焚烧处理的现状不能有效对接。

（2）大多数城市现有的厨余垃圾处理设施无法满足厨余垃圾有效分类收集后的处理需求。

（3）生活垃圾分类工作的群众主动参与度和积极性不高，尚未形成自主垃圾分类的良好氛围。

（4）部分试点地区分类后的厨余垃圾中含有较多杂质，从一定程度影响了后续处理和产品出路。

（二）转运及污染治理技术水平

生活垃圾的转运是连接生活垃圾产生源和处理处置系统的重要环节。根据不同的转运方式，可以将转运分为直接转运和中转转运。四川省大部分地区生活垃圾采用中转转运，少部分地区采用直接转运。其中，中转转运分为一级和二级转运模式（图 4-3）。目前，四川省大部分农村地区 and 中小城镇采用一级转运模式，地域面积较大的城市部分区域采用二级转运模式。

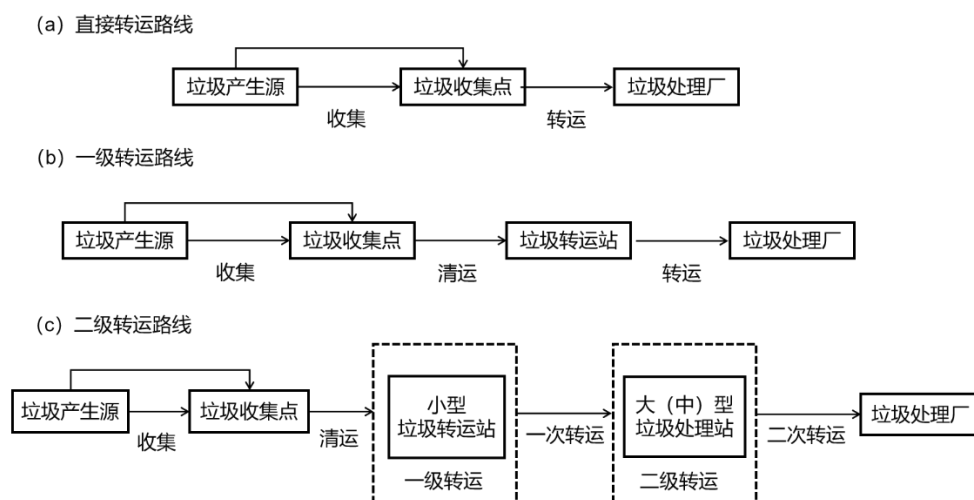


图 4-3 直接、一级和二级转运模式的转运路线

生活垃圾转运站是生活垃圾转运过程的重要基础设施。根据不同的修建形式可分为地面转运站、半地下转运站和全地埋转运站。目前，四川省大部分地区采用地面垃圾转运站，部分地区采用半地下垃圾转运站，少部分地区采用全地埋垃圾转运站。

对照《四川省生活垃圾分类和处置工作方案》和《生活垃圾转运站技术规范 CJJ/T47-2016》，目前四川省生活垃圾的转运存在以下问题：

1.部分地区的垃圾转运路线规划和车辆调度计划欠佳，降低了垃圾转运效率，增加了转运成本和转运时间；

2.部分垃圾转运站在垃圾转运与装卸过程中产生的恶臭、噪声和粉尘没有得到及时控制，且存在垃圾堆放不规范和垃圾渗滤液泄漏等现象，影响城市景观，引发“邻避效应”，导致部分地区垃圾转运站建设选址困难。

（三）焚烧处理技术水平

目前的垃圾焚烧技术按燃烧反应过程分为直接焚烧和热解气化

焚烧，垃圾焚烧炉按燃料运动和气固混合方式分为机械炉排炉、回转窑炉和流化床炉等。四川省生活垃圾焚烧普遍采用机械炉排炉直接焚烧技术，炉膛内温度控制为 850-1000℃，烟气在炉膛内 850℃以上区域停留 2s，通过一次，二次供风保证足够的湍流度，控制过量空气量，实现生活垃圾充分燃烧。

生活垃圾焚烧过程主要污染包括恶臭、垃圾焚烧烟气、垃圾渗滤液和垃圾焚烧飞灰，四川省目前的防控技术水平如下：

1.恶臭控制

四川省垃圾焚烧厂的恶臭污染防治策略为“防臭+除臭”。防臭措施主要为卸料大厅、垃圾储坑和垃圾渗滤液收集处理区域全密闭设计，并采取抽吸的方式将臭气引入焚烧炉作为助燃空气进行焚烧，密闭区域维持负压，防止臭气逸散。除臭措施在焚烧炉停运检修的应急工况下采用，主要将卸料大厅、垃圾储坑和垃圾渗滤液收集处理区域产生的臭气抽送至活性炭除臭装置进行处理并喷洒除臭剂，确保达到《恶臭污染物排放标准》（GB14554-93）后进行排放。

2.烟气处理

垃圾焚烧烟气中主要有害成分包括酸性气体（主要为硫氧化物、氯化氢和氮氧化物），二噁英、颗粒物等。其中，烟气脱硝常用工艺为选择性催化还原法（SCR）和选择性非催化还原法（SNCR），SNCR法脱硝在四川省垃圾焚烧厂应用最广。二氧化硫、氯化氢等酸性气体可以采用干法、湿法、半干法进行脱酸处理，四川省普遍采用“半干法+干法”，即在半干法的基础上增加干法辅助脱酸。对二噁英的防

控从燃烧过程控制和焚烧烟气处理两方面进行，燃烧过程通过“3T+E”燃烧工艺减少二噁英的生成；焚烧烟气处理过程通过在布袋除尘器前加装活性炭喷射装置对二噁英进行物理吸附。颗粒物处理采用布袋除尘器，除尘效率达到 99.9%。总体来看，目前四川省垃圾焚烧烟气净化主要采用“SNCR 脱硝+半干法脱酸+干法脱酸+活性炭喷射+布袋除尘”组合工艺，达到《生活垃圾焚烧污染控制标准》（GB18485-2014）后排放。

3.垃圾焚烧厂渗滤液处理及浓缩液处置

垃圾焚烧厂中垃圾储坑产生的渗滤液进入配套建设的渗滤液处理系统进行处理。四川省垃圾焚烧厂渗滤液处理基本采用“预处理+生物处理+深度处理”模式，预处理工艺包括除渣、沉淀和水质调节等，生物处理工艺包括升流式厌氧污泥床（UASB）、复合式厌氧流化床（UBF）和膜生物反应器（MBR）等，深度处理包括纳滤（NF）和反渗透（RO）。其中，“格栅+调节池+UASB+MBR+NF/RO”的组合工艺在四川省垃圾焚烧厂渗滤液处理中应用最广。

对于深度处理环节产生的垃圾渗滤液膜浓缩液（下称“浓缩液”），处置方式主要可以分为三大类：一是转移处理，即将浓缩液外运进行处理；二是减量处理，即通过物理、化学等手段减少浓缩液绝对产量，处理技术有高压反渗透、蒸发等；三是进行无害化处理，即电絮凝、沉淀、高级氧化和回喷焚烧等。四川省垃圾焚烧厂采用的单一处置工艺有直接回喷焚烧和浸没燃烧蒸发，组合工艺包括“物料膜/碟管式反渗透（DTRO）+回喷焚烧”“软化+超滤+管网式反渗透（STRO）

+喷雾热风干燥”“物料膜+臭氧/活性炭”和“混凝+高级氧化(O_3/H_2O_2)/生物活性炭”等。

4. 飞灰处理

垃圾焚烧飞灰（下称“飞灰”）属于危险废物（类别 HW18，代码 772-002-18），处置方式包括无害化和资源化两类。目前四川省的飞灰处置方式主要为无害化处置，处置技术为“固化/稳定化+填埋”，即垃圾焚烧产生的飞灰输送至固化车间进行螯合固化，经毒性浸出试验检测满足《生活垃圾填埋场污染控制标准》（GB16889-2008）要求后送至填埋场飞灰填埋专区进行填埋。资源化利用技术包括水洗处理技术、高温熔融处理和水泥窑协同处置，其中水洗通常作为预处理技术与水泥窑协同处置技术联用，“水洗+水泥窑协同处置”组合工艺可先后实现盐分和无机组分的资源化利用。目前四川省部分地市已开始建设垃圾焚烧飞灰水洗设施，水洗渣由水泥窑协同处置。

对照四川省生活垃圾焚烧污染防治技术现状和生活垃圾焚烧中长期规划，垃圾焚烧污染防治主要存在以下问题：

（1）目前四川省部分偏远县城和乡镇已开始建设小型垃圾焚烧（热解）设施，但普遍存在炉型选取不合理、管理不规范、排放不达标和单位垃圾处理费用过高等问题，后续需在调研国内成熟案例基础上，科学选择焚烧技术和方案，确保小型焚烧（热解）设施稳定运行并达标排放；

（2）回喷焚烧是一种简单可靠、无害化彻底的浓缩液处置方式，但浓缩液回喷焚烧炉一方面会影响燃烧过程热工况导致焚烧烟气污

染物的浓度波动；另一方面，浓缩液中含有大量的盐分（氯离子和硫酸根离子）会在焚烧过程形成酸性气体加速炉膛、炉管腐蚀，并增加后续烟气净化系统的负荷。因此，回喷焚烧技术需进一步改进、优化并制定相应的技术规范，以促进浓缩液的无害化处置；

（3）四川省生活垃圾处理将持续以焚烧为主，飞灰产生量也持续增加，当前普遍采用的“固化/稳定化+填埋处置”技术虽然可以实现飞灰无害化处置，但盐分和重金属存在浸出风险，且将长期占用填埋库存，资源化利用程度低。“水洗+水泥窑协同处置”组合工艺虽然在省内将逐渐得到应用，但副产盐因目前国内只有再生盐团体标准《再生工业盐 氯化钠》（T/ZGZS 0302-2023）、《再生工业盐 硫酸钠》（T/ZGZS 0303-2023）而使其资源化应用受到较大的制约，后期还有待国家标准出台的助力。

（四）填埋处置技术水平

卫生填埋场填埋工艺包括厌氧填埋、准好氧填埋和好氧填埋，四川省主要采用厌氧卫生填埋工艺。该工艺在卫生填埋场设置防渗系统、渗滤液导排系统以及填埋气体导排系统，在填埋施工过程中实施日覆盖、中间覆盖和最终覆盖。防渗系统中主防渗层采用厚度大于 1.5 mm 的高密度聚乙烯膜（HDPE），并设置渗滤液导流层、地下水导流层（需要时）和保护层等辅助层；填埋气体处理系统包括填埋气体收集系统与填埋气体排放系统，填埋气体主要是无组织排放。

生活垃圾填埋处理过程中垃圾渗滤液的处理和封场后生态修复是减少环境污染的重要环节，四川省目前的处理技术水平如下：

1.垃圾渗滤液处理

四川省卫生填埋场渗滤液采用的处理方式包括回灌处理和填埋场区内配套设施处理。采用回灌处理的地区主要有阿坝州、甘孜州、凉山州和攀枝花等部分降雨量小、蒸发量大的地区。卫生填埋场配套渗滤液处理设施普遍为“预处理+生物处理+深度处理”工艺，其中深度处理环节大部分采用膜处理技术，如成都市固体废弃物卫生填埋场垃圾渗滤液处理工艺为“过滤+膜生物反应器(MBR)+纳滤系统(NF)+反渗透(RO)”，处理后出水达《生活垃圾填埋场污染物控制标准》(GB16889-2008)表2要求。

四川省西部地区和部分县级市主要对浓缩液进行回灌处理，而其他地区多采用组合工艺进行处理，如仁寿县大化生活垃圾填埋场和自贡莲花生活垃圾填埋场的浓缩液处理工艺为“预处理+高压物料膜+脱氨+高级氧化”，设计浓缩液处理规模 300m³/d，处理后的水质可达《生活垃圾填埋场污染物控制标准》(GB16889-2008)。

2.卫生填埋场生态修复

卫生填埋场封场后需进行生态修复。四川省卫生填埋场生态修复措施有：

(1) 通过添加有机肥和草炭土等对封场区域的土壤环境进行改良以利于植物生长，如蒲江县生活垃圾卫生填埋场生态修复项目；

(2) 通过人工种植植被对卫生填埋场进行绿化，如内江市城市生活垃圾填埋场选择抗逆性强、易于管护、景观效果好的本土植物作为修复植被。

对照《生活垃圾处理处置工程项目规范》（GB55012-2021）、《生活垃圾卫生填埋处理技术规范》（GB50869-2013）和《生活垃圾渗沥液处理技术规范》（CJJ-150-2010），目前四川省垃圾卫生填埋还存在以下问题：

（1）现有填埋场大多库容不足以支撑长期运行，但新建卫生填埋场选址困难，易引发邻避效应；

（2）四川省部分偏远地区卫生填埋场的运营管理不规范，难以确保二次污染物尤其是垃圾渗滤液得到妥善处理；

（3）四川省部分卫生填埋场渗滤液与浓缩液长期回灌，不仅影响垃圾稳定化进程，还会使盐分和难降解有机物组分不断累积，新产生的垃圾渗滤液可生化性低，致使现有的垃圾渗滤液生物处理单元运行稳定性差。

（五）餐厨垃圾处理技术水平

餐厨垃圾处理技术包括厌氧发酵、好氧堆肥、饲料化和生物转化等技术。餐厨垃圾组分的复杂性决定了使用单一的已有处理技术难以完成高效高质处理，因此，通过“分拣、破碎、除油、脱盐、油水分离”对餐厨垃圾进行组分分离后，综合运用已有多项处理技术是实现资源化的处理思路。基于四川省餐厨垃圾含油率高、无机盐和有机物含量高等特点，已逐渐形成了在油脂回收后，以厌氧发酵技术为主、好氧堆肥技术为辅、饲料化和生物转化技术为补充的餐厨垃圾处理技术路线。

如在成都市中心城区餐厨垃圾无害化处理项目（二期），餐厨垃

圾经过挤压和除杂后，实现浆液、油脂和固渣分离，其中浆液经厌氧发酵系统产沼发电，油脂被制成生物柴油，固渣送焚烧厂焚烧。在成都肖家河生活垃圾分类处置中心，餐厨垃圾经“预处理+好氧发酵”后，可制成初级有机肥和生物柴油。同时，分布式小型处理设施逐渐多元化，如在部分餐馆、酒店甚至居民小区采用智能一体化厨余垃圾处理装置，在小区利用厨余垃圾生产环保酵素等，共同推进厨余垃圾的处置和资源化利用。

对照四川省餐厨垃圾生物处理技术现状和要求，主要存在以下问题：

（1）厌氧发酵过程周期长，产气率低，沼渣、沼液难以资源化利用，需投入额外的处理成本；

（2）好氧堆肥过程中恶臭气体产生量大，且涉及无组织排放，影响周边居民生活环境质量，易引发“邻避效应”；

（3）四川省多地垃圾分类尚处在起步阶段，收运的餐厨垃圾中含有金属、塑料和玻璃等杂质，导致预处理工艺有效分离程度不高，对后续处理影响较大。

三、生活垃圾处理处置与污染防治技术介绍

（一）生活垃圾处理处置技术

生活垃圾处理处置技术的选择应结合相应标准、技术适用条件、生活垃圾产生量、组分和性质等方面综合考虑。现阶段，生活垃圾主要的处理处置技术包括转运、填埋、焚烧、热解和水泥窑协同处置等。其中，转运为生活垃圾的预处理技术，实现生活垃圾的初步减量，随

后运输至处理厂（场）进行最终处理处置。

各处理厂（场）普遍采用填埋、焚烧、热解和水泥窑协同处置等技术对生活垃圾进行最终处理。其中，填埋技术由于需要占用大量土地资源，且资源化利用程度较低，占比逐渐减少；焚烧技术实现了热能发电，具有较高的资源化效益，且减量化和无害化效果明显，占比近年快速提高；热解技术在一些垃圾产生规模较小的地区得到了一定应用，但整体技术还有待提高；水泥窑协同处置技术将生活垃圾转化为水泥熟料，不仅减量化和无害化效果明显，还具有很高的资源化效益，在一些具备条件的地区水泥窑协同处置设施数量逐渐增加。

餐厨垃圾处理处置技术主要包括好氧堆肥、厌氧发酵和黑水虻养殖等，分别通过好氧微生物、厌氧微生物和黑水虻三种不同类型的生物/微生物对生活垃圾进行降解，资源化利用程度高，但处理周期普遍较长，对处理环境条件要求严格，且易产生恶臭。

生活垃圾和餐厨垃圾处理处置技术具体见表 4-2。

表 4-2 生活垃圾处理处置技术概况

污染物类型	技术名称	技术原理	技术特点	应用领域
生活垃圾	转运	由垃圾运输车将收集点的生活垃圾运输至生活垃圾转运站，在压缩装置的作用下缩小生活垃圾的体积，以实现生活垃圾的高效转运。压缩后的垃圾再由大型运输车进一步运输至垃圾卫生填埋场或垃圾焚烧厂处理处置	处置方式简单，压缩速度快，可将生活垃圾体积降低约 2/3，并降低垃圾水分含量，在提高运输效率的同时避免了运输过程中垃圾渗滤液的泄漏。除了渗滤液外，臭气的有效收集和处理是转运站需面对的一个环境问题	主要应用于收集区域面积较大、生活垃圾收集点距离处理处置场所较远的城（镇）区

污染物类型	技术名称	技术原理	技术特点	应用领域
	填埋	当生活垃圾填入填埋场后，易降解组分发生好氧生物降解反应。随着氧气的不断消耗，填埋场内开始形成厌氧环境，在兼性厌氧菌和真菌的作用下，生活垃圾中的硝酸盐和硫酸盐分别被还原成 N_2 和 H_2S 。随着兼性和专性厌氧细菌逐渐增加，含氮有机物和碳氢类有机物被转化为微生物细胞原生质、醇类或糖类以及各种有机酸，随后乙酸分解菌和产氢菌利用这些醇类、糖类以及各种有机酸作为电子供体产生乙酸和氢气。当产甲烷细菌逐渐成为优势种群时，大量乙酸和其他有机酸以及 H_2 被其转化为 CH_4 ，在此阶段，产甲烷菌和其他专性厌氧细菌不断分解所有可降解垃圾，将其转化为稳定的矿化物或简单的无机物。直到填埋场内易降解物质被分解完时，填埋场进入成熟阶段，少量微生物继续分解难降解有机物	生活垃圾填埋技术具有技术成熟、运行管理简单、处理量大、适用范围广和投资及运行费用较低等优点，但填埋场的选址较为困难，占地面积较大，稳定化周期长，且填埋过程会产生大量垃圾渗滤液，增加了处理难度	适用于填埋场选址较易、不适宜建设焚烧设施的地区或用于焚烧设施运行不正常时的垃圾应急处置场所
	焚烧	利用垃圾焚烧炉内的高温使生活垃圾燃烧，燃烧产生的热能用于发电，达到了垃圾减量化、资源化与无害化的目的	占地面积小、处理速度快、减量效果好、能源利用率高，但设备投资、运行和维修成本较高，垃圾堆积过程中产生的垃圾渗滤液和焚烧过程中产生的飞灰和炉渣需进一步处理；此外，焚烧烟气的处理也是需要妥善应对的又一问题	适用于垃圾日产生量较大的地区
	热解	在缺氧和高温的条件下，生活垃圾中有机组分经过	适用范围广、投资和运行维护成本低；设	适用于生活垃圾产生量小、位置偏远

污染物类型	技术名称	技术原理	技术特点	应用领域
		一系列脱附、裂解、氧化和还原等反应，被转化为混合可燃气、焦油和焦炭	备操作复杂，调控难度大且处理规模小，目前已建的设施长期稳定达标有难度	和交通不便的地区
	水泥窑协同处置	生活垃圾在储库中进行生物发酵，以降低水分并提高热值，发酵后的生活垃圾和产生的渗滤液通过分解炉的高温焚烧去除有毒有害物质，焚烧后的残渣与水泥原料在回转窑中经高温煅烧形成水泥熟料	生活垃圾在处置前需进行分选；处置规模大，一般超过 200 t/d；焚烧温度高且停留时间长，确保生活垃圾能充分燃烧；工艺简单，技术较为成熟，资源化利用程度较高	适用于当地有合适的水泥窑且垃圾可燃组分含量较高的地区
餐厨垃圾	好氧堆肥	微生物群落在营养、水分和通风条件合适的情况下，将餐厨垃圾中的有机物分解转化为二氧化碳、水、无机物和生物体细胞物质。好氧堆肥过程分为中温、高温和腐熟三个阶段	工艺简单，技术较成熟，资源化程度高；堆肥周期长，约为 15—60 天，易产生恶臭气体且控制有一定难度；堆肥受垃圾含水率、有机物含量、温度、pH 值和盐分浓度的影响较大；动态间歇式堆肥厂的处理规模一般为 100-200 t/d，动态连续式堆肥厂大约为 200-400 t/d	适用于在好氧环境下处理分类后的餐厨垃圾
	厌氧发酵	在厌氧环境中，依靠兼性厌氧和专性厌氧微生物的分解作用，对餐厨垃圾中的有机物进行降解，并产生甲烷、氢气和二氧化碳等气体。厌氧发酵过程分为水解、发酵、产氢产乙酸和产甲烷四个阶段	处理能耗低、工业化水平高，处理后的餐厨垃圾残渣可作为肥料，产生的甲烷也可作为清洁能源进行资源化利用；处理前需调控餐厨垃圾的 C/N 比、pH 值和有机物含量等以保证厌氧发酵效率；产生的沼液和沼渣需进一步处理；平均每吨餐厨垃圾可产生 100-160 m ³ 的甲烷气	适用于在厌氧环境下处理分类后的餐厨垃圾

污染物类型	技术名称	技术原理	技术特点	应用领域
	黑水虻养殖	利用黑水虻幼虫取食餐厨垃圾中的有机成分，通过其强大的消化酶对有机成分进行降解，收获的黑水虻幼虫可回收用于生产肥料和饲料	黑水虻的生长周期短、转化率高、耐受性强；资源化利用程度高，养殖的黑水虻可用于生产肥料和饲料，虫卵可进行外售，具备一定的经济效益。1 kg 虫卵可处理约 10 t 餐厨垃圾，并产出 2000-3000 kg 鲜虫	适用于在温度和空气适宜的条件下处理分类后的餐厨垃圾

（二）污染防治技术

生活垃圾填埋和焚烧过程会产生大量二次污染物，如垃圾渗滤液、飞灰和炉渣。针对这些二次污染物，现已具有较为成熟的处理技术。

对于垃圾渗滤液，处理技术包括絮凝处理、生物处理、高级氧化、膜分离和蒸发技术等。其中，絮凝技术通过絮凝沉淀作用去除垃圾渗滤液中的污染物质，但整体效果有限，通常被作为预处理技术；生物处理技术通过生物降解作用去除垃圾渗滤液中的有机污染物，处理成本较低，是渗滤液处理主要选用的技术之一；高级氧化和膜分离技术分别通过化学氧化和物理分离的作用处理垃圾渗滤液，高级氧化技术能实现难降解有机物的有效降解，而膜分离技术则通过富集浓缩垃圾渗滤液中的有机物，在实现污染物良好去除效果的同时，也会产生一定的浓缩液；蒸发技术主要对垃圾渗滤液浓缩液进行处理，通过蒸发工艺使水分挥发后，减量化效果明显。

对于飞灰，处理技术包括固化处理、化学药剂稳定技术、水热处理、水洗处理、熔融处理和水泥窑协同处置技术等，其中固化处理和化学药剂稳定技术的操作较为简单，但长期稳定性较差，固化体或稳

定化的飞灰仍需进行填埋处置；水热处理技术通过加入硅源和铝源去除飞灰中的污染物，对重金属和二噁英去除效果较好，但产生的废水和废气需进一步处理；水洗技术能有效对飞灰进行脱盐，但处理后的飞灰需进行熔融处理或水泥窑协同处置；熔融处理和水泥窑协同处置技术主要用于处理水洗飞灰，利用高温有效分解飞灰中的污染物，且飞灰作为产品原料消耗，资源化利用程度较高。

对于炉渣，目前主要进行分选再利用，不仅有效回收金属和建筑材料，且操作简单，成本较低，适用范围广。

垃圾渗滤液、飞灰和炉渣处理技术具体见表 4-3。

表 4-3 生活垃圾填埋和焚烧过程二次污染防治技术概况

污染物类型	技术名称	技术原理	技术特点	应用领域
垃圾渗滤液	絮凝处理	絮凝剂通过压缩双层、电中和、吸附架桥和网捕作用去除难以生物降解的有机物、重金属及聚合物等	处理成本较低，操作简单，但会产生大量污泥；能有效去除疏水性较强的高分子量有机物；絮凝剂类型和反应参数对处理效果的影响较大；COD 去除率普遍低于 50%	渗滤液预处理
	高级氧化	在高温高压、催化剂、光辐照或电等条件下产生大量具有强氧化能力的自由基对有机物进行降解	处理成本较高，处理周期短；对难降解有机物的去除效果优异；COD 去除率约为 35%—90%	渗滤液或浓缩液中难降解有机物的处理
	生物处理	微生物通过好氧或厌氧反应降解垃圾渗滤液中的有机物	处理成本较低，处理周期长，受垃圾渗滤液水质的影响较大；对难降解有机物的去除效果差；COD 去除率在 23%—90% 的范围内	渗滤液有机污染物的处理
	膜分离	利用膜的选择透过性分离出垃圾渗滤液中的重金属、盐分和有机物等污染物	处理周期短；对分子量较大的有机物、重金属等污染物的去除效果好；会产生约为进水量 10%—30% 的浓缩液；COD 去除率约为 10%—75%	渗滤液的深度处理

污染物类型	技术名称	技术原理	技术特点	应用领域
	蒸发	将挥发性组分与非挥发性组分分离的物理过程，采用蒸发工艺处理垃圾渗滤液时，水分会从溶液中沸出，而污染物最终残留在垃圾渗滤液中	维护成本较低；对水量、水质变化的适应能力强；出水可达标排放，减容率可达 97%以上	渗滤液浓缩液的处理
飞灰	固化处理	通过固化剂、凝结剂等胶结材料的表面吸附、离子交换、溶解沉淀等作用将重金属和其他有害物质封闭在固化体内	技术成熟，操作简单；固化体的长期稳定性差，固化剂使用量大时增容明显；消耗大量原材料且不利于减量化处置；飞灰固化后需填埋处置	具备填埋条件的地区飞灰的预处理
	化学药剂稳定	通过添加有机/无机化学稳定剂将飞灰中有毒有害的污染物转化为无毒无害物质	操作简单，稳定后飞灰增容较小，但处理成本较高；化学药剂对重金属有一定的选择性，需结合实际情况选择合适的药剂；飞灰稳定化后需填埋处置	具备填埋条件的地区飞灰的预处理
	水热处理	在碱性条件以及特定温度和压力下，向飞灰中加入适量的硅源和铝源，形成硅铝酸盐等矿物，通过离子交换、吸附和沉淀等物理化学作用去除飞灰中的重金属和二噁英等污染物	处理周期较长，设备要求高；对飞灰中的重金属以及二噁英的去除效果较好；需对水热过程产生的重金属废水和尾气进行处理	硅和铝含量较高的飞灰处理
	水洗处理	加入一定的去离子水与飞灰混合搅拌，并通过过滤等方式使废渣与废液分离，从而降低飞灰中的氯含量	操作简单，成本低廉，氯盐脱除率可达到 80% 以上；水洗技术只能去除飞灰中的可溶性氯盐，难溶性氯盐仍难以脱除；飞灰中的部分重金属也会溶解到水中，如 Pb 和 Zn 等，水洗滤液需进行处理；水洗渣需熔融处理或水泥窑协同处置	具备熔融处理或水泥窑协同处置条件的地区飞灰的预处理
	熔融处理	水洗飞灰与助熔剂经高温熔融煅烧（900-1300℃）、急冷处理形成烧结体，二噁英和呋喃等有机污染物得到分解，同时少部分沸点较	资源化利用程度高，处理彻底；飞灰减容量大，能够去除/固化重金属和其他挥发性有毒物质；处理 1 吨飞灰的能耗约为	水洗飞灰的处理

污染物类型	技术名称	技术原理	技术特点	应用领域
		低的重金属挥发，其余大部分被固定在烧结体中，浸出毒性大大降低	600-1000 千瓦时	
	水泥窑协同处置技术	利用水泥生产过程的高温去除水洗飞灰中二噁英等有机污染物，并将无机物进行熔融固化制成水泥熟料	资源化利用程度高，能替代 10%—30%水泥生产原料；能有效去除二噁英并对重金属进行固化	具有合适水泥窑的地区水洗飞灰的处理
炉渣	分选再利用	通过风选、筛分和磁选等技术对炉渣进行分选，分选后的金属和建筑材料等进行资源化利用，未燃尽组分进行二次燃烧，难利用组分则进行填埋处置	工艺简单，成本较低；资源化利用程度高，对环境的影响较小，二次污染总体可控；适用范围广	焚烧炉渣的处理

四、生活垃圾处理处置技术典型应用案例

案例一：成都市金牛区 2 万户家庭厨余垃圾分类服务试点及推广

项目概况：成都市金牛区综合行政执法局 2 万户家庭厨余垃圾分类服务试点及推广项目服务范围为成都市金牛区 56 个小区，近 18000 户居民参加厨余垃圾入户收集预发酵处理。该项目处理厨余垃圾主要采用“一户一桶、入户收集、以桶换桶、APP 预约上门转运、后期资源化利用”的模式，每户发放一个厨余垃圾收集桶，厨余垃圾在桶内进行 2-4 周的预发酵后，用户通过微信小程序下单预约人员上门转运并更换新的收集桶。收集到的厨余垃圾在小区内部或周边的厨余小站进行暂存和粉碎浆化处理，发酵形成的浆化有机质可施入农业种植基地，或经二次发酵形成“人工黑土”产品用于退化草原土壤的改良等。

项目规模：2000-18000 户家庭

投资成本：181.26 万元

技术工艺路线：

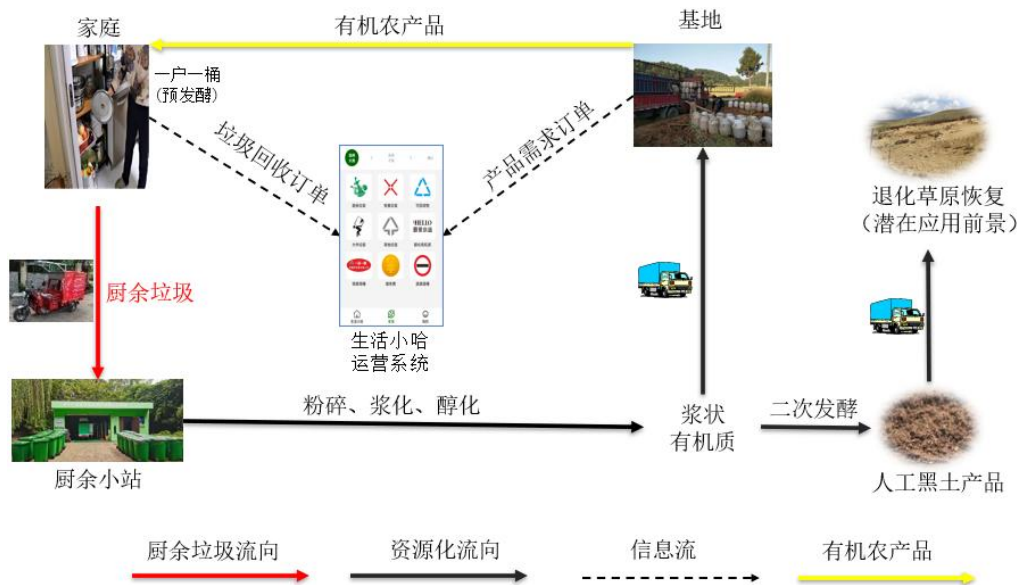


图 4-4 成都市金牛区 2 万户家庭厨余垃圾分类服务试点及推广项目工艺流程

处理性能：该项目厨余垃圾分出率可达 36%，漏失率 0%，厨余垃圾经醇化、发酵后的产物符合《有机肥料》（NY525-2021）标准中重金属含量限值（总砷<15mg/kg，总汞<2mg/kg，总铅<50mg/kg，总镉<3mg/kg，总铬<150mg/kg）。制成的“人工黑土”产品土壤有机质含量为 15.6%，总养分含量为 1.9%，符合《人工黑土》（Q/JHKJB465HT1.0-2021）企业标准和《有机肥料》（NY25-2012）标准中重金属含量限值。

案例照片：



图 4-5 项目合作街道宣传现场（左）、家庭厨余垃圾收集预发酵装置（右）

案例二：成都市武侯区地下垃圾压缩转运站

项目概况：成都市武侯区地下垃圾压缩转运站位于华兴街道南桥社区，该项目总占地面积约 3.27 万平方米，包括垃圾压缩转运站、污水处理处置中心、固体污染物检测室、科普教育中心等多功能城乡环境一站式综合体。垃圾压缩转运站采用全地埋式的建筑形式，上部形成坡地城市公园，地下负一层是卸料区，负二层是压缩转运区。垃圾收集车进站后，在负一层进行卸料，随后生活垃圾被倾倒入负二层的压缩转运区，经过专业设备多次水平压缩成块后，由配套转运车辆封闭运送至填埋场或发电厂。压缩过程中产生的渗滤液经反硝化、膜过滤处理后排入地下市政污水管网，进入城市污水处理厂处理；臭气经酸洗、碱洗等成套设备处理后达标排放。

项目规模：生活垃圾 2000 t/d、垃圾渗滤液 300 t/d

投资成本：5.9 亿元

技术工艺路线：

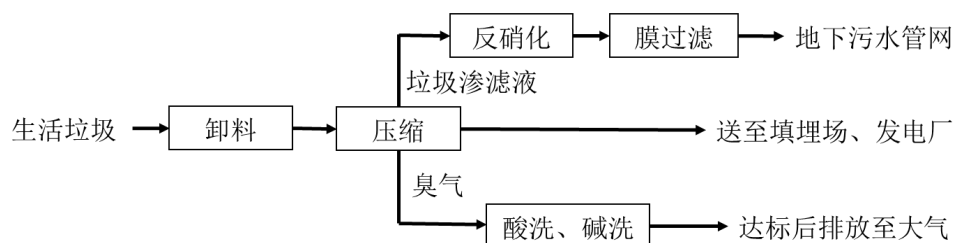


图 4-6 成都市武侯区地下垃圾压缩转运站工艺流程图

处理性能：生活垃圾压缩成块后，体积可降低约三分之二，由配套转运车辆封闭运送至填埋场或发电厂。

案例照片：



图 4-7 成都市武侯区地下垃圾压缩转运站地面（左）、垃圾压缩转运中心内部（右）

案例三：成都市某环保发电厂（二期）

项目概况：成都某环保发电厂（二期）位于成都市龙泉驿区洛带镇狮子村，该项目总占地面积 200 亩，配置 4 条生活垃圾机械炉排炉焚烧线，5 条污泥干化生产线，配套两台额定 30 MW 的凝气式汽轮发电机组。生活垃圾焚烧采用机械炉排炉焚烧工艺；焚烧烟气净化采用“SNCR+半干法（ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ）+碱液喷射+活性炭喷射+布袋除尘+SCR”组合工艺；垃圾渗滤液处理采用“UBF+MBR+NF+RO”工艺；飞灰处置采用“固化+填埋”工艺。

项目规模：生活垃圾 3000 t/d

投资成本：17.5 亿元

技术工艺路线:

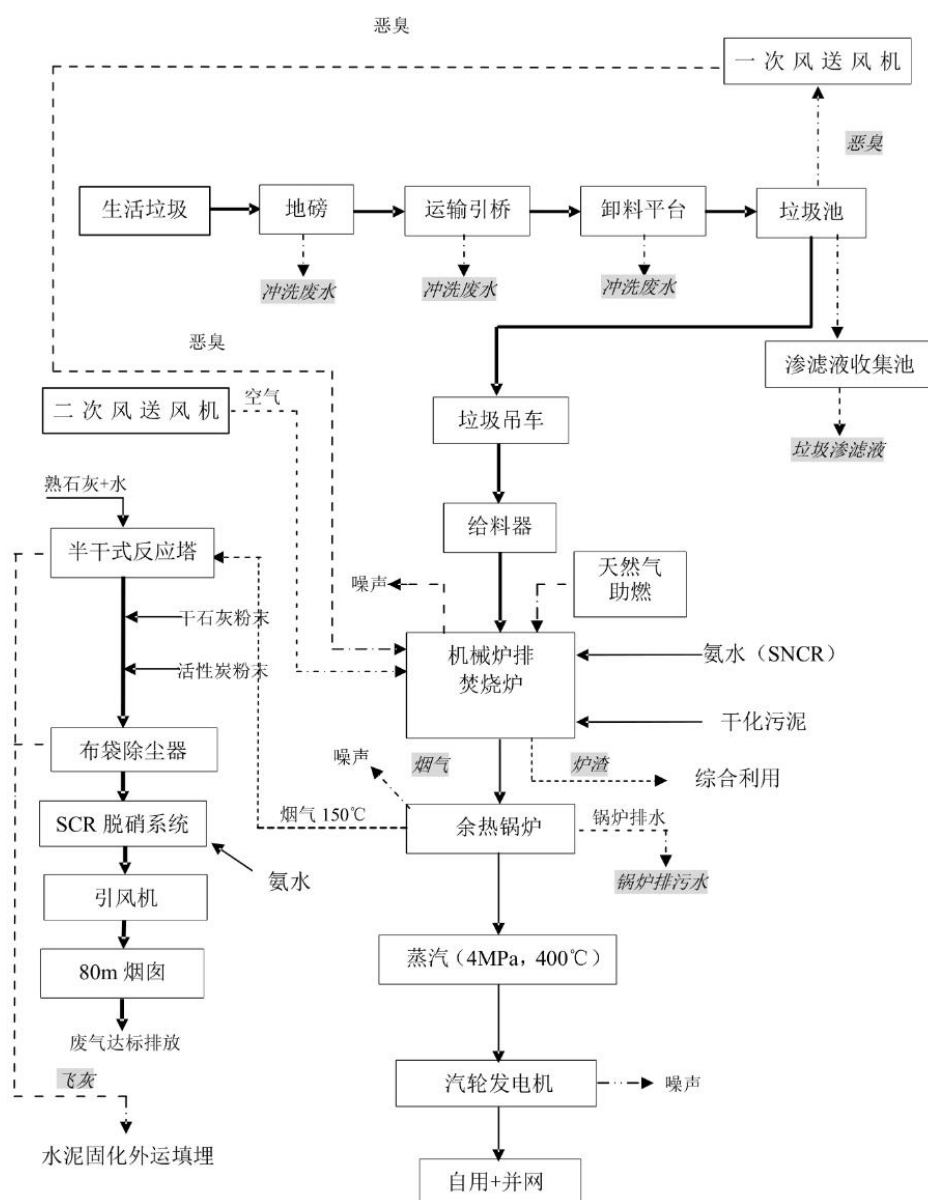


图 4-8 某环保发电厂（二期）工艺流程

注：该项目产生的垃圾渗滤液和生产废水进入成都市固体废弃物卫生处置场渗滤液扩容工程（三期）进行处理，工艺流程如图 4-11 所示。

处理性能：该项目排放的废气污染物处理后达《生活垃圾焚烧污染控制标准》（GB18485-2014），烟气排放值优于欧盟 2000 标准；产生的垃圾渗滤液和生产废水进入成都市固体废弃物卫生处置场渗滤液扩容工程（三期）进行处置后，达《生活垃圾填埋场污染控制标

准》（GB16889-2008）中表 2 标准后排入成都第九污水处理厂进行处理；产生的飞灰进行固化处理，满足《生活垃圾填埋污染控制标准》（GB16889-2008）浸出液污染物浓度要求后，送至成都市固体废物卫生处置场（三期）进行分区填埋处置；炉渣运至成都某环保科技有限公司综合利用。

案例照片：



图 4-9 某环保发电厂二期外景（左）、汽机车间（中）与垃圾仓（右）

案例四：成都市固体废物卫生处置场（三期）

项目概况：成都市固体废物卫生处置场（三期）位于龙泉驿区洛带镇新桥村，该项目总占地面积约 4.76 万平方米。该项目处理对象为城市生活垃圾及垃圾焚烧产生的固化飞灰，建有生活垃圾填埋库区和飞灰填埋区。生活垃圾填埋区设计库容 582.18 万立方米，设计处理规模为 7100 吨/日，服务年限为 10 年，其中前期作为服务范围内生活垃圾处置场所，待规划的焚烧厂全部建成投产后转型为成都市垃圾应急堆放场所。飞灰填埋区设计库容 85.41 万立方米，设置处置规模约为 422 吨/日，服务年限为 5.5 年。

垃圾填埋区库底和边坡分别采取 HDPE 土工膜（2.0 mm）+ 4800 g/m²GCL 膨润土垫 + 300 mm 压实粘土（ $K \leq 1 \times 10^{-5} \text{m/s}$ ）、2.0 mm 厚双糙面 HDPE 土工膜+4800 g/m²GCL 膨润土垫的复合人工防渗结构。

飞灰填埋区库底和边坡分别采取 HDPE 土工膜 + 600 g/m²长丝土工布 +5 mm 厚土工复合排水网+600 g/m²长丝土工布+2.0mm 厚 HDPE 土工膜、1.5 mm 厚 HDPE 土工膜+600 g/m²土工布+5 mm 厚土工复合排水网+600 g/m²长丝土工布+2.0 mm 厚 HDPE 土工膜的双层防渗结构，并在两层防渗层中间配置检漏层。

本项目产生的渗滤液管输至成都市固体废弃物卫生处置场渗滤液处理厂，采用“预处理+厌氧处理+MBR+NF+RO”工艺进行处理，纳滤浓缩液处理采用“高级氧化（臭氧）+活性炭生物”工艺，反渗透浓缩液处理采用“DTRO 减量+蒸发”处理工艺。生活垃圾填埋区填埋气抽至 CDM 项目发电。

项目规模：生活垃圾 7100 t/d，飞灰 422 t/d

投资成本：8.02 亿元

技术工艺路线:

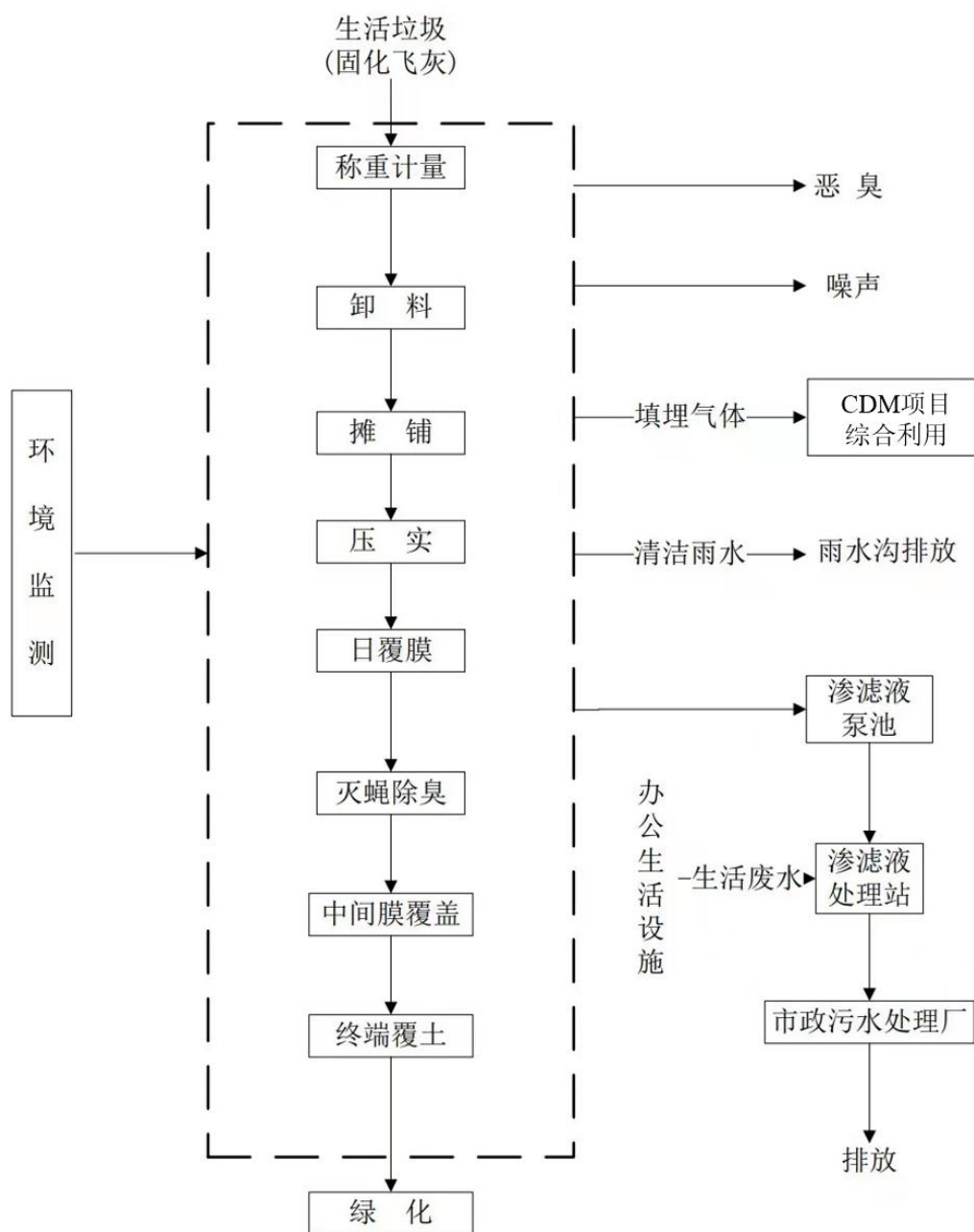


图 4-10 成都市固体废弃物卫生处置场（三期）生活垃圾填埋工艺流程

处理性能：该项目产生的垃圾渗滤液进入成都市固体废弃物卫生处置场渗滤液处理三期工程处理，达《生活垃圾填埋场污染控制标准》（GB16889-2008）后，经专用垃圾渗滤液尾水输送管道排入市政管网，最终进入成都市第九污水处理厂。

案例照片：



图 4-12 成都市固体废弃物卫生处置场（三期）填埋区（左）及渗滤液处理工程（右）

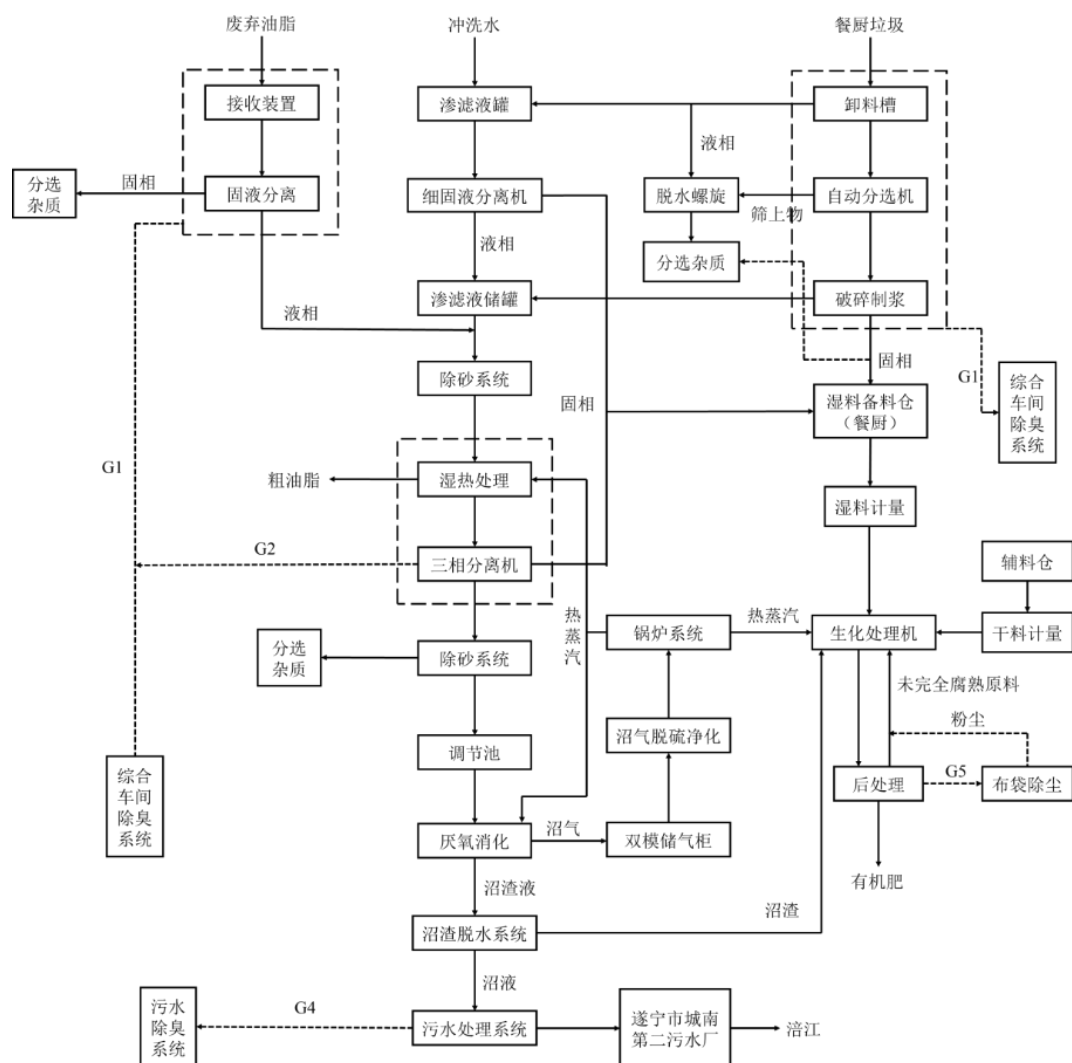
案例五：遂宁市餐厨垃圾及废弃油脂资源化综合利用项目

项目概况：遂宁市餐厨垃圾及废弃油脂资源化综合利用项目位于遂宁市船山区龙凤镇石桥村 8 组，该项目总占地面积约 38.89 亩。整体处理工艺设计考虑餐厨垃圾物料的组分与特性，采用“预处理+全料制浆+三相分离+固相好氧发酵+液相厌氧发酵”协同处理的工艺。该项目的生产废水和生活污水采用“CSTR+水解酸化+AO+MBR”工艺处理，生产过程中的废气经综合除臭系统处理后达标排放。

项目规模：餐厨垃圾 130 t/d，废弃油脂 30 t/d

投资成本：1.1 亿元

技术工艺路线:



注: G1—餐厨垃圾卸料接收系统恶臭 G2—预处理车间恶臭 G3—生化处理车间恶臭
G4—污水处理站废恶臭 G5—有机肥后加工车间粉尘

图 4-13 遂宁市餐厨垃圾及废弃油脂资源化综合利用项目工艺流程

处理性能：该项目选用的餐厨垃圾处理工艺符合《餐厨垃圾处理技术规范》（CJJ184-2012）技术成熟、资源化程度高和无害化处理要求；产生的生产废水和生活污水经处理后，达《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准，通过专用污水罐车拉运至遂宁市城南第二污水处理厂处理。

案例照片：



图 4-14 遂宁市餐厨垃圾及废弃油脂资源化综合利用项目（左）、生化处理系统（中）、厌氧处理系统（右）

五、结论与展望

（一）结论

四川省生活垃圾产生量大，收运处置体系较为完善，处理方式以焚烧为主，无害化程度高，但生活垃圾分类回收利用率仍有待进一步提高。目前，四川省采用的转运、焚烧、填埋处理和餐厨垃圾处理技术的应用现状如下：

（1）四川省垃圾分类采取有害垃圾、可回收物、厨余垃圾和其他垃圾的“四分法”分类，但目前仍存在部分地区生活垃圾末端处理方式与垃圾分类模式不能有效对接、现有厨余垃圾处理设施无法满足有效分类后的需求、生活垃圾分类工作的群众参与度和积极性不高以及分类后的厨余垃圾杂质较多等问题。

（2）垃圾转运过程涉及的转运站形式现以地面垃圾转运站为主，半地下垃圾转运站和全地埋垃圾转运站应用较少，部分转运站运行过程中还存在恶臭、噪声、粉尘和垃圾渗滤液外泄等问题。

（3）四川省生活垃圾焚烧主要采用机械炉排炉直接焚烧技术。焚烧作为四川省生活垃圾无害化处理的主要方式，处理量不断增加。焚烧过程产生的恶臭主要采用“防臭+除臭”策略进行防治；烟气主

要采用“SNCR 脱硝+半干法脱酸+活性炭喷射+布袋除尘”组合工艺进行处理；垃圾渗滤液处理采用“预处理+生物处理+深度处理”模式，浓缩液处理工艺有直接回喷焚烧、“物料膜+臭氧/活性炭”和“物料膜/DTRO+回喷焚烧”等；焚烧飞灰以“固化/稳定化+填埋”处理技术为主。焚烧过程垃圾渗滤液/浓缩液和飞灰污染防治技术还存在一定问题，如浓缩液回喷焚烧可能导致焚烧炉炉膛和炉管腐蚀以及焚烧烟气污染物浓度波动，焚烧飞灰资源化利用程度较低等。

（4）四川省垃圾填埋技术以厌氧填埋为主，在运营和已封场的卫生填埋场均在持续产生垃圾渗滤液。垃圾渗滤液的处理方式主要包括回灌处理和填埋场区内配套设施处理；浓缩液处理方式包括回灌处理和组合工艺处理。然而，垃圾渗滤液和浓缩液的长期回灌，已影响填埋场现有的垃圾渗滤液生物处理单元的稳定性。

（5）四川省餐厨垃圾处理逐渐形成以厌氧发酵技术为主、好氧堆肥技术为辅、饲料化和生物转化技术为补充的技术路线。但由于四川省垃圾分类工作仍处于起步阶段，前端分类工作不完善导致餐厨垃圾成分复杂，对后续生物处理影响较大。

（二）展望

针对目前生活垃圾分类、收运及处理处置过程中存在的问题，应从以下方面进一步优化：

（1）加强生活垃圾分类宣传教育，提高群众的参与度和积极性；健全生活垃圾分类收集设施，确保街道、乡镇和社区配备齐全的生活垃圾分类收集容器，推动城市和农村地区建设兼具垃圾分类收运与可

再生资源回收功能的垃圾分类收运体系；采取小型厨余垃圾处理设施和集中式厨余垃圾处理设施相结合的模式，满足分类后厨余垃圾的处理需求。

（2）统筹推进中转（压缩）站新（改）建项目建设，健全生活垃圾转运过程的污染防控措施，防止生活垃圾“先分后混”和运输环节“二次污染”。

（3）焚烧厂渗滤液浓缩液回喷焚烧技术需进一步改进优化并制定相应的操作技术指南，在保证焚烧炉正常运行的前提下，促进焚烧厂浓缩液的无害化处置。

（4）焚烧飞灰的处理应结合四川省不同地区飞灰的组分特性、资源化利用条件选择合适的处理技术，进一步提高焚烧飞灰处理的无害化水平 and 资源化程度。

（5）逐渐减少填埋场浓缩液回灌操作，对垃圾渗滤液处理过程中产生的浓缩液逐渐推行全量化处理。

（6）因地制宜选择餐厨垃圾处理技术，促进餐厨垃圾处理多元化发展，实现处理产物工业油脂、生物柴油、土壤调理剂和沼气等的高质化利用。

第五章 四川省农业固体废弃物处理处置技术

我省地处长江上游，成渝双城经济圈核心，地缘格局位置独特，生态屏障功能重要。我省作为农业和畜牧业大省，种养业产量长期位于全国前列，农业生产过程产生农业废弃物中，以秸秆和畜禽粪污为主，还包括农膜、农药包装及塑料等废弃物。推进农业废弃物处理处置不仅能改善区域环境，还能助力绿色生态农业发展，对推进长江经济带发展、乡村振兴、成渝地区双城经济圈建设等国家战略意义重大。

根据前期农业废弃物处理处置资料调研，我省秸秆和畜禽粪污处理处置方面大力推行资源化利用工作，农膜、农药包装及塑料则以集中收集、处置为主。本章节在前期我省资料调研基础上，并吸收其他省市先进可行技术，主要从秸秆和畜禽粪污资源化利用技术，农膜、农药包装及塑料集中回收技术角度，介绍了我省农业废弃物处理处置现状、技术水平及需求、处置技术及原理及典型应用案例，最后，基于我省区域多样化的特征，针对性提出适用的农业废弃物处理处置技术建议。

一、全省农业固体废弃物处理处置现状

（一）秸秆处理处置现状

我省是一个农业大省，农作物秸秆资源十分丰富。四川秸秆产业化利用根据产业基础、资源分布等实际情况，推进形成“两区一带一片”的秸秆产业化利用空间布局。“十四五”期间，四川将推动秸秆综合利用结构调整优化、利用能力持续建设、利用水平巩固加强。坚

持因地制宜、农用优先、就地就近、政府引导、市场运作、科技支撑，以肥料化、饲料化、能源化利用为主攻方向提升利用水平，形成政府推动、市场驱动、主体带动的长效机制，努力提升秸秆农用水平、秸秆收储运专业化水平、秸秆市场化利用水平。

根据《四川省“十四五”固体废弃物分类处置及资源化利用规划》，2020年，全省农作物秸秆年利用资源量3649万吨，可收集资源量3106万吨，秸秆用量2865万吨，预计2025年，全省农作物秸秆理论资源量4650万吨。“十三五”时期，全省秸秆资源综合利用水平明显提升，2020年秸秆综合利用率超90%。其中，秸秆肥料化、饲料化、燃料化、基料化、原料化利用率分别达69.4%、14%、14.2%、1.6%、0.7%。

（二）畜禽养殖粪污处理处置现状

我省是畜禽养殖业大省，生猪、牛、羊、鸡、兔等畜禽产品产量长期位于全国前列。根据四川省统计年鉴现有最新数据，2021年，全省生猪出栏6314.9万头，年末生猪存栏4255.1万头；牛出栏293.1万头，年末存栏830.5万头，羊出栏1766.2万只；活家禽出栏77467.3万羽，年末存栏45682.6万羽。根据畜禽养殖废弃物产量产排污系数法计算，即根据畜禽饲养量、饲养周期即粪尿量排泄系数折算，公式如下：

$$Q = \sum_i^n N_i \times T_i \times \alpha_i \quad (1)$$

公式（1）中：Q表示畜禽粪便年产生总量，t，n表示畜禽种类； N_i 表示第*i*类畜禽出栏量，只（头）； T_i 表示第*i*类畜禽饲养周期，d，

α_i 表示第*i*类畜禽粪尿量排泄系数， $\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$ 。

不同种类畜禽饲养周期和畜禽日均粪尿量排泄系数参考：四川省秸秆和畜禽粪便县域分布特征和资源化利用潜力，农业资源与环境学报 2023，40（2）：455-467。

根据以上公式，2021年四川省畜禽养殖废弃物产量约8208万吨，根据四川省生态环境厅编制的《四川省“十四五”固体废物分类处置及资源化利用规划》，预计到2025年，畜禽养殖废弃物产生量1.86亿吨。

“十三五”期间，我省深入贯彻落实党中央、国务院和省委、省政府关于打好农业农村污染治理攻坚战和畜牧业转型升级决策部署，基本实现发展规模有计划、基础设施有保障、综合利用有路径，使畜禽养殖废弃物乱排现象得到有效遏制。全省63个畜禽养殖大县和22个非畜牧大县实施了国家畜禽粪污资源化利用整县推进项目，累计争取中央资金29.7亿元，覆盖全省约70%的农区县和近80%的养殖量，重点支持畜禽养殖场粪污处理利用设施设备装备提档升级及节水设施改造，积极推进清洁养殖，促进源头减量。规范投入品使用，严格规范饲料添加剂的生产和使用。2020年底，全省畜禽粪污综合利用率达75%以上，规模养殖场粪污处理设施装备配套率达95%以上，大型规模养殖场粪污治理设施装备配套率达100%。2023年1月16日，由生态环境厅会同农业农村厅编制的《四川省畜禽养殖污染防治规划》已经省政府同意正式印发，将作为“十四五”时期全省畜禽养殖污染防治工作指导性文件。《规划》明确，到2025年，全省畜禽养殖业

总体布局科学、结构合理，规模化、标准化、产业化程度大幅提高，生猪规模化养殖场占比达到 65%。全省畜禽粪污综合利用率达到 80% 以上，规模化畜禽养殖场粪污处理设施配套率稳定在 97% 以上，规模以上畜禽养殖粪污综合利用水平持续提高。到 2035 年，畜禽粪污基本实现资源化利用，综合利用率达到 95% 以上。

（三）农膜处理处置现状

农膜的使用对保障我国粮食安全和农产品有效供给作出了重大贡献，对于促进农业发展具有不可替代的作用。而农膜也是我省农业的重要生产资料之一，对稳定发展我省农业生产，保障粮食安全和重要农产品有效供给作出了重大贡献。覆膜种植技术在带来增产、增效的同时，在局部地区造成“白色污染”。

为了进一步加强农膜科学使用，减少农业面源污染，保护农业生态环境。根据 2020 年中华人民共和国农业农村部、中华人民共和国工业和信息化部、中华人民共和国生态环境部、国家市场监督管理总局为防治农用薄膜污染，加强农用薄膜监督管理，保护和改善农业生态环境，根据《中华人民共和国土壤污染防治法》等法律、行政法规，制定的《农用薄膜的管理办法》和 2022 年四川省十三届人大常委会第三十五次会议表决通过的《四川省固体废物污染环境防治条例（修订）》，依法明确：①农用薄膜使用者应当在使用期限到期前捡拾田间的非全生物降解农用薄膜废弃物，交至回收网点或回收工作者，不得随意弃置、掩埋或者焚烧。②农用薄膜生产者、销售者、回收网点、废旧农用薄膜回收再利用企业或其他组织等应当开展合作，采取多种

方式，建立健全农用薄膜回收利用体系，推动废旧农用薄膜回收、处理和再利用。③根据当地农业生产特点，调查摸清本地废旧农膜种类、数量，分析产生季节和分布情况，做好废旧农膜回收利用有关工作。农膜生产者、销售者、使用者需按照《中华人民共和国土壤污染防治法》《农用薄膜的管理办法》和《四川省固体废物污染环境防治条例（修订）》等法律法规、标准和规范要求，认清并依法履行法律义务，抓好废旧农膜污染防控的良好工作氛围，实现农膜科学使用和废旧农膜回收利用、防治农业面源污染的目标，助推广大农村地区走资源节约、循环利用、环境友好、生态文明的可持续发展道路。

（四）农药包装处理处置现状

我国是农药生产与使用大国，据《中国农村统计年鉴 2021》，我国 2020 年农药使用量为 131.3 万吨，如果以单个包装量为 100 g 进行测算，有 130 亿个包装被使用。据四川省统计年鉴现有最新数据，2021 年四川省农药施用量为 4.097 万吨，如据上述测算，有 4.1 亿个包装被使用。解决好农药包装废弃物回收处理问题，有利于打好农业面源污染防治攻坚战、治理农村环境污染，同时也将间接推进现代农业建设、美丽乡村建设的重要任务。建议四川省在更新制定实施细则的过程中，可以借鉴已经出台的实施细则中好的做法：①为强化责任落实，实施细则应明确各级各部门在回收处理中的责任。②制定实施细则时应对农药包装废弃物实施有条件豁免管理。③实施细则应探索农药生产者、经营者履行回收处理义务的路径。④实施细则应将建立农药包装废弃物回收处理工作的长效机制纳入考虑。各地要强化工作

情况调度，及时协调解决工作中出现的难点问题，创新思路办法，探索建立长效机制。从事资源化利用的单位需按照《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》《国家危险废物名录（2021年版）》及其附录《危险废物豁免管理清单》《农药包装废弃物回收处理管理办法》《四川省固体废物污染环境防治条例》等法律法规、标准和规范要求，依法依规从事农药包装废弃物收集、运输、利用活动。认真落实生态环境保护 and 安全生产主体责任，严格执行危险废物管理有关制度和要求，落实危险废物管理计划、申报登记、转移联单、台账记录等规范化管理要求，严格危险废物包装贮存等环节管理。

（五）塑料处理处置现状

中国是一个农业大国。塑料制品在农业方面有广泛的应用。农用塑料制品有：①农业用覆盖材料（农用棚膜、地膜、覆盖配套材料等）；②农业用灌溉材料（输水用管材、地埋排水甩管材、喷灌与微灌用器材、渠道用防渗膜等）；③包装材料（塑料膜袋、编织袋、网眼袋、周转箱、钙塑瓦楞箱、中空容器、托盘、发泡网等）；④塑料网障（遮阳网、防风、防虫网）等。四川省化肥、农药使用量呈减少趋势，而全省农用塑料薄膜使用量略有上涨。根据国家统计局数据显示，2019年，四川省农用塑料薄膜使用量为12.32万吨，与2011年的12.22万吨相比，增长了0.1万吨，增幅约为0.82%。2011年至2019年间，四川省农用塑料薄膜使用量在2011年至2016年间维持逐年增长的趋势，年均复合增长率约为1.61%；2016年至2018年间，全省农用塑

料薄膜使用量快速下降，特别是 2018 年，全省农用塑料薄膜使用量同比下降 8.25%；2019 年再次回升，同比增长 2.54%。

二、农业固体废弃物处理处置技术水平与需求

（一）秸秆处理处置技术水平与需求

秸秆处理技术主要包括秸秆还田与资源化利用两种方式。还田处理技术是秸秆废弃物处理传统而有效的方法，包括直接还田和功能性还田。秸秆是土壤有机质的重要来源，秸秆炭的含碳量达 65%以上，具有很好的固碳减排作用。秸秆还田能有效改善土壤性状、优化土壤功能、提高耕地质量。四川省 2020 年农作物秸秆直接还田率为 47.41%。秸秆功能性还田技术包括膜式快腐还田、异位覆盖还田、炭化还田技术。秸秆资源化方式包括饲料化、肥料化、能源化利用等方式。

传统的秸秆全量、半量覆盖还田，养分归还土壤效率低，田间腐解速度慢，长期连续直接还田后田间病虫害有加重趋势。秸秆有机肥生产需要收储运条件，又需要生产场地和大型设备，利用比例较低。四川地形复杂，特别是丘陵、山地区域秸秆收集难、运输不便，导致秸秆还田成本高，而这些区域又没有一些轻简化、快速还田的技术和装备，有必要研发就地就近还田技术及装备，促进节本增效。

四川秸秆产能大，饲料化利用率不高，畜禽饲草需求大，但自给率不高，饲料资源短缺问题日益显现，人畜争粮矛盾日渐突出。开发秸秆的饲料价值，实现资源的循环综合利用，可有效补充饲料短板。

（二）畜禽养殖粪污处理处置技术水平与需求

畜禽养殖粪污的处理主要包括无害化处理与资源化利用两种方

式。无害化处理包括还田处理、工业化处理、自然处理技术等。还田处理技术是畜禽养殖污水处理传统而有效的方法，主要是将畜禽粪便污水还田作为肥料，而不将其排往外界环境，达到污染物的零排放。工业化处理技术包括生物处理系统以及异位发酵床等。自然处理模式主要采用氧化塘、土地处理系统或人工湿地等自然处理系统对养殖场污水进行处理。畜禽粪污的资源化利用方式包括肥料化、能源化、基料化和饲料化四种类型。其中，肥料化和能源化是主要两类方向。肥料化利用主要通过堆肥发酵还田模式实现。该模式通过固液分离技术，分离畜禽粪污中固液两相，固体进行堆沤发酵处理，进行还田或者生产有机肥，污水经无害化处理后用于农业种植。能源化利用主要以沼气生态循环模式为主。该模式以微生物厌氧发酵为核心，将粪污发酵产生的沼气直接作为染料，或转化为电能，沼液沼渣进一步加工为有机肥用于经济作物种植。

畜禽粪污处理的现有问题主要包括种养有效衔接不够、环境承载压力大及粪污还田标准要求与过程监管有待加强。种植业与养殖业布局协调不足，种养主体分离、规模不匹配、联系不紧密等问题突出，区域（流域）畜禽养殖分布不均衡，人口稠密地区，人地矛盾突出，在现行土地集约化程度不高、规模化养殖比例较低的情况下，难以建立规模养殖与规模种植相结合的种养平衡生态发展模式。同时，养殖业粪污的持续性产生与农业的季节性生产存在矛盾，粪污还田利用出路不畅，设施装备仍然不足，还田机械严重不足，还田方式粗放，“最后一公里”尚未打通，加剧了种养脱节。

四川省畜禽养殖业持续快速发展，生猪出栏量高居全国第一。畜禽养殖污染已成为农业面源污染的主要来源，第二次全国污染源普查数据显示，畜禽养殖业水污染物排放中化学需氧量、氨氮、总氮、总磷分别为 40.76 万吨、0.39 万吨、2.70 万吨、0.50 万吨，约占农业面源污染物排放量的 95%、46%、41%、54%，其中规模养殖场排放化学需氧量、氨氮、总氮、总磷分别为 14.86 万吨、0.15 万吨、1.19 万吨、0.19 万吨。部分规模养殖场（小区）和养殖户粪污存储处理设施建设不规范、运行不正常、粪污偷排漏排等时有发生。畜禽养殖污染基数大，防治任务重，污染防治工作形势仍较严峻。

畜禽粪污的处理应根据排放去向或利用方式的不同执行相应的标准规范，如《畜禽粪便无害化处理技术规范》（GB/T36195-2018）、《畜禽粪便还田技术规范》（GB/T25246-2010）以及《农田灌溉水质标准》（GB5084-2021）等。目前四川省粪污还田利用过程中对于相关标准要求考虑不足，执行不到位，可能会对地下水等环境造成污染，政府部门应强化粪污还田利用的过程监管；养殖粪污中含有较高浓度抗生素、抗生素抗性基因，在粪污资源化利用中，其污染也越来越受到关注。

（三）农膜处理处置技术水平与需求

农用地膜是现代农业稳产高产、高水平标准化种植的一大有力助手，它能增温、保墒、保肥增效，促进了农业生产力的高速发展，得到了广泛的应用。农用地膜基本建立农膜回收体系，基本实现全回收，农田白色污染得到有效防控。农田地膜污染防治技术针对农田地膜污

染的突出问题，集成一批农膜污染防控技术，已初步建立农田地膜污染综合防控体系，有效减少农膜污染、节约资源、实现农业生态环境可持续发展为目标，提出了不同成熟程度、先进性、应用价值的农膜污染综合防控技术。

但农膜作为我国农业种植领域广泛推广使用的技术，存在重使用、轻回收的突出问题，农田地膜残留污染的治理已经到了刻不容缓的地步，攻克农田地膜污染防治难关，可服务乡村振兴战略，为我国农业可持续发展作出贡献。

（四）农药包装处理处置技术水平与需求

为防治农药包装废弃物污染，2020年农业农村部 and 生态环境部联合公布《农药包装废弃物回收处理管理办法》（以下简称《办法》），明确规定地方各级人民政府依照《中华人民共和国土壤污染防治法》的规定，组织、协调、督促相关部门依法履行农药包装废弃物回收处理监督管理职责，建立健全回收处理体系，统筹推进农药包装废弃物回收处理等设施建设。

《办法》要求，农药生产者、经营者应当按照“谁生产、经营，谁回收”的原则，履行相应的农药包装废弃物回收义务。履行方式可以由农药生产者、经营者协商确定。还要求农药经营者和农药包装废弃物回收站（点）应当建立农药包装废弃物回收台账，记录农药包装废弃物的数量和去向信息。回收台账应当保存两年以上。

《办法》指出，农药包装废弃物回收应当按照“风险可控、定点定向、全程追溯”的原则充分资源化利用；资源化利用以外的，应当

依法依规进行填埋、焚烧等无害化处置。鼓励地方有关部门加大资金投入，给予补贴、优惠措施等，支持农药包装废弃物回收、贮存、运输、处置和资源化利用活动。

（五）塑料处理处置技术水平与需求

2019 年 9 月 9 日，习近平总书记主持召开中央全面深化改革委员会第十次会议，审议通过《关于进一步加强塑料污染治理的意见》。2020 年 1 月 16 日，国家发展和改革委员会、生态环境部联合发布《关于进一步加强塑料污染治理的意见》，明确提出规范塑料废弃物回收利用，推动塑料废弃物资源化利用的规范化、集中化和产业化，强化创新引领、科技支撑，有力有序有效治理塑料污染。此外，我国还出台了“无废城市”“美丽乡村”建设等一系列政策，为我国废弃塑料污染防治和废塑料回收利用行业健康发展指明了方向。科学技术部多次立项废旧塑料制品污染防治与综合利用系列科研项目，在“十三五”期间开展“固废资源化”重点研发计划，在全生物降解塑料及其新型制品、废旧塑料制品智能化回收与再利用、二次资源高值化综合利用等领域进行技术创新布局，初步形成了较为健全的塑料垃圾回收利用技术链条，带动了废弃塑料循环利用产业的快速发展，如图 5-1 所示。

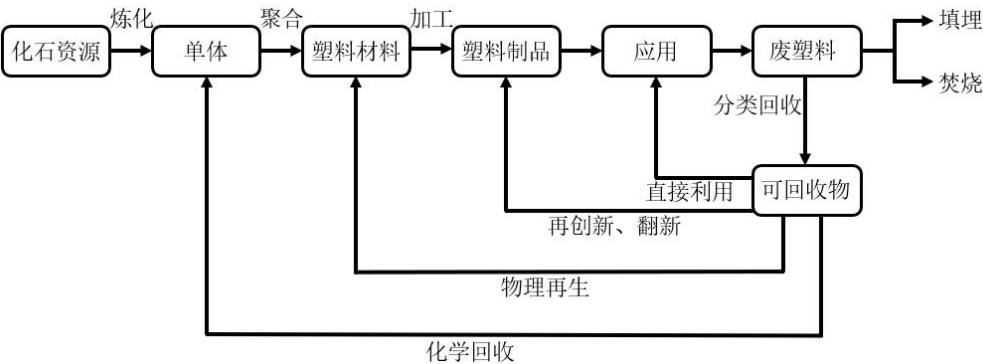


图 5-1 塑料垃圾回收利用技术链

三、农业固体废弃物处置技术介绍

（一）秸秆处置技术

1. 秸秆就地就近膜式快腐堆肥还田技术

技术特点：将工厂化堆肥技术与就地收集生产有机肥相结合，仅需要小型技术装备，在田间地头均可以实施。其解决的核心生产问题：一是解决了收集运输等高成本环节，大幅降低了秸秆间接还田成本；二是解决了秸秆腐解缓慢，堆肥配合发酵微生物菌剂加快了秸秆的腐熟进程；三是解决了直接还田病虫害风险增大的问题。技术流程：堆肥场地选择→秸秆收集→物料预处理→堆肥装置铺设→建堆发酵→数据收集→成品还田。

适宜区域：丘陵、山地区域。

提质增效：堆腐形成的有机肥就地还田满足了农业生产有机肥使用需求，有效降低农业化肥使用量，示范区化肥使用量降低了18%-22%，亩节本30-40元；秸秆可堆腐形成有机肥250—300公斤/亩；秸秆经过堆肥处理，通过高温能够有效杀灭在秸秆上的病虫，减少来年农业生产病虫害。

推广情况：自2018年以来，在合江、泸县、古蔺等地开展秸秆集中智能堆肥、秸秆简易堆肥还田技术、秸秆就地就近膜式快腐堆肥示范等，经过多年示范推广和不断改进，已形成较完备的综合技术措施和技术装备，结合高标准农田建设、绿色种养循环等项目的实施，累计开展技术培训50余次，培训3000余人次，推广应用50余万亩。

2.农作物秸秆异位覆盖还田技术

技术特点：秸秆是土壤有机质的重要来源，秸秆还田后可快速腐解，转化成有机质和速效养分，增加氮、磷，特别是有机质和速效钾含量，具有蓄水保墒、调节地温和减缓土壤水分、温度波动，降低田间杂草密度，调节土壤 pH 值，提高土壤生物活性、改良土壤等作用。该技术总结了农作物秸秆异位还田的技术要点和技术流程，形成了农作物秸秆异位还田技术，指导农民科学开展农作物秸秆异位还田。技术流程：秸秆收集→秸秆转运→秸秆覆盖时间→秸秆覆盖方式及用量→田间管理。

适宜区域：土层薄、肥力低、干旱缺水的四川丘陵地区果园、中药材等种植区域。

提质增效：多年平均可实现秸秆覆盖减少土壤水分蒸发 25%—30%，能有效延长园地保墒期 15 天左右，抑制杂草减少施药次数，防治成本节约 30%—40%，秸秆有机替代化肥 10%—15%，降低施肥成本 10%左右，提高土壤有机质 0.3%—0.5%，同时还可减少地膜用量，实现节本增效绿色高质量生产。

技术推广：自 2020 年以来，在成都、德阳、绵阳、眉山、凉山州等地开展柑橘、葡萄、猕猴桃、川芎、芍药、丹参的不同秸秆用量异位还田技术试验示范、秸秆异位覆盖还田化肥替代比例试验示范等，同时进行土壤的物理化学性质变化、田间生态指标和作物生长指数等监测。经过多年示范推广和不断改进，已形成较完备的综合技术措施，累计开展技术培训 20 余次，培训 800 余人次，推广应用 20 余万亩。

3.秸秆炭化还田改土固碳减排技术

技术特点：生物炭是农林废弃物等生物质在缺氧或限氧条件下热裂解形成的呈碱性、具有巨大比表面积和丰富孔隙结构以及强吸附能力的稳定固体富碳产物。生物炭在改善土壤结构、增加土壤微生物多样性、吸持养分、提高作物产量、固碳减排、治理环境污染等方面具有巨大应用潜力。以生物炭为核心，以炭化技术为基础，以生物炭基肥料和土壤改良剂为主要发展方向，通过生物炭基农业投入品的产业化、规模化应用，同时实现秸秆综合利用、耕地质量提升、农田固碳减排多重目标。

适宜区域：粮食主产区或经济作物主产区等秸秆枝条量丰富的地区，适用的秸秆主要有玉米、小麦、稻草、大豆、棉秆、果树枝条等。特别适合土壤有机质含量低、土壤板结、土壤黏重、土壤酸化和存在连作障碍或轻度污染的区域。

提质增效：酸化的土壤在使用炭基肥后有机质含量增加了 15%，pH 值提高了 20%；在遂宁，酸性紫色土连续使用炭基肥 3 次后，土壤有机质提高 3g/kg，玉米增产 15%以上；将制成的秸秆炭保留秸秆全营养元素，以炭锁肥，将化肥的用量减少 30%，利用率提高 34%，有效解决土壤肥力欠缺的问题。

推广情况：《农业绿色发展技术导则（2018—2030 年）》，将生物炭基肥料等新产品及其生产工艺列入我国未来 10 年农业绿色发展集成示范内容，“秸秆炭基肥料利用增效技术”和“秸秆炭化还田固碳减排技术”分别列为 2020 年和 2021 年农业农村部重大引领性技

术。2020 年以来，该技术在成都平原、丘陵区及攀西特色水果种植区进行了示范推广。

4.秸秆饲料化贮藏关键技术

技术特点：我省丘陵山地众多、季节性干旱突出、优质饲草供应不足或季节性不平衡，牛羊冬春缺草问题突出，部分区域冬春家畜死亡时有发生，饲草料缺口很大。秸秆营养丰富，可饲料化利用的农作物秸秆种类主要为玉米、小麦、水稻、豆类、薯类和花生等秸秆，因此利用秸秆饲料化贮藏技术，根据不同秸秆采用贮藏方式，以提高秸秆饲料产量和品质，促进草食畜牧业高质量发展和农牧民增收。技术包括：贮前准备、原料收集、秸秆青贮、秸秆黄贮、秸秆微贮、秸秆氨化。

适宜区域：四川平坝、丘陵以及类似生态区。

提质增效：通过该技术的实施，提高了秸秆饲料化贮藏的品质，秸秆饲料化利用，可有效避免秸秆占用耕地、焚烧等引起的环境问题，同时扩大了饲料来源，降低饲料成本，秸秆一般 100~200 元/吨；加工后 400~450 元/吨；秸秆数量巨大，饲料化利用，节约饲粮，保障国家粮食安全；增加就业机会，促进农民增收。生态、经济和社会效益显著。

技术推广：该技术在达州市、眉山市、绵阳市、广元市、南充市、宁南县等市县推广示范，优化了“三贮一化”以及秸秆饲料化贮藏关键技术，为秸秆饲料化因地制宜利用提供了技术规范，为“川牛羊”产业提供了饲草料周年保障，实现绿色经济环保发展。

5. 秸秆生物制浆与肥料联产技术

技术特点：利用生物处理技术，通过微生物菌靶向分解，将秸秆中的高分子链断裂，提取适合造纸的秸秆纤维原料。生物制浆产率高，秸秆纤维素的粗度、强度、紧度都比较好，光散射系数及抗张强度都优于废纸再生纤维，是非常优良的造纸原料，可生产纤维素地膜、育苗钵、餐具及工业塑膜包装等产品；生物制浆提取液，富含微生物、微量元素及腐殖酸，可复配形成水溶肥。“固体废料”结合堆肥技术形成有机肥，生产过程清洁环保，废水、废气、废渣零排放。

适宜区域：粮食主产区等秸秆丰富地区，适用的秸秆主要有稻草、小麦、玉米、大豆等。

提质增效：该技术利用生物发酵技术预处理秸秆，替代传统给高温高压蒸煮，节能减排，生物制浆和肥料联产将秸秆资源“吃干榨尽”，提高秸秆资源化利用率，避免秸秆焚烧带来的环境问题。秸秆纤维素高阶产品可降解地膜，具有节水约 1/3、保温、减肥、降药、改土、提质等效果，其高端应用可用于纺织品织造、可降解包装材料、木制家具等方面，缓解不可再生资源的短缺。

技术推广：该技术在我国北方粮食主产区推广应用广泛，结合我省实际情况未来可以借鉴引进该技术，并开展匹配性研发，开发适合我省不同区域特征的技术方案。

（二）畜禽养殖粪污处置技术

1. 常用粪污处理技术

1.1 畜禽粪污能肥利用协同技术

技术原理：依托专业畜禽粪污处理企业，收集周边养殖场畜禽粪污，投资建设大型沼气工程，利用畜禽粪污厌氧发酵制取沼气，通过沼气发电上网或者提纯生物天然气，生产可再生能源，厌氧残留物沼液沼渣通过田间储肥布肥、当季用肥、跨季储肥进行肥料化还田，通过空间换时间，实现沼肥周年稳定消纳，达到畜禽粪污能、肥协同利用的目的。

适用范围：大型规模畜禽养殖场或养殖密集区，具备沼气发电上网或生物天然气进入管网条件，需要地方政府配套政策给予保障。

技术特点：对养殖场的粪污集中统一处理，减少小规模养殖场粪污处理设施的投资；专业化运行，能源化利用效率高。但一次性投资高；能源产品品质低、利用难度大；沼液沼渣产生量大且集中，需构建农田布肥、储肥系统，以满足沼渣沼液周年消纳和降低转运成本的需求。

1.2 固体粪便肥料化利用技术

技术原理：养殖场经过粪便收集、干燥、好氧堆肥发酵、制粒、灌装等过程生产专用有机肥。

适用范围：适用于只有固体粪便、无污水产生的家禽养殖场或羊场等。

技术特点：好氧发酵温度高，粪便无害化处理较彻底，发酵周期短，堆肥处理提高粪便的附加值；好氧堆肥过程易产生大量臭气，需在实际应用过程中进行气体管控装备设施构建和技术方法开发。

1.3 异位发酵床技术

技术原理：在养殖圈舍外或集中处理中心建设若干发酵槽，在发酵槽中按一定比例铺置垫料、喷淋畜禽粪污并进行翻抛混合、增加透气性，通过补充微生物制剂发酵使得畜禽粪污和垫料混合物得到降解的技术。

适用范围：异位发酵床处理的畜禽粪污浓度一般不低于 15%，最适用于刮粪板干清粪工艺处理模式。该技术利用好氧菌发酵，结合养殖场规模设计发酵床容积，占地少，适合应用于耕地缺少的丘陵地区畜禽养殖场，能实现粪浆发酵全部转化为有机肥原料。

技术特点：可多次导入粪污循环进行发酵，发酵产生的高温将水分蒸发掉，粪便大部分被微生物分解，转化变成有机肥，最终实现养殖场粪污不对外排放；存在垫料成本较高、操作不当易死床以及重金属积累等问题。

1.4 畜禽养殖废水还田回用技术

技术原理：畜禽养殖废水进行厌氧发酵+好氧处理等组合工艺进行深度处理，通过系列物理化学和微生物作用后，废水达到《农田灌溉水质标准》（GB5084-2021）后进行还田回用。

适用范围：适用于养殖场周围有一定配套农田的规模化养殖场。

技术特点：废水深度处理后，可实现还田回用，不需要建设大型粪水贮存池，可减少粪污贮存设施的用地，但废水处理成本高。

2. 我省粪污处理主推技术推广情况

2.1 羊场环境控制与粪污治理技术

技术原理：该项技术对羊场圈舍建造技术、羊舍内环境控制技术、粪污无害化处理与资源化利用技术进行了集成和组装，构建成羊场环境控制与粪污治理技术。其中粪污治理采用以下五种技术：①羊粪堆积发酵处理技术，该技术采用羊粪自然堆肥+人工辅助发酵的办法进行羊粪的无害化处理。②羊场污水处理技术，污水处理需要建设氧化塘、沉淀池、沼气池收集后妥善处理，避免对周边环境造成污染。③羊舍配套土地承载力评估技术，需要科学合理确定单位土地面积可以消纳的畜禽粪便量，从而根据某个养殖场或区域内畜禽养殖量来准确计算出需要配套的土地面积，或者说根据土地面积来准确计算出可以承载多少畜禽养殖量。④放牧草畜平衡承载能力评估技术，基于可食用草比例 80%、草地合理利用率 55%、满足肉羊健康生长所需草料采食量 1.8kg/d 的条件下，估算了不同地区不同草地类型肉羊四季放牧和冬春补饲（放牧 215d，补饲 150d）两种模式下的草地承载力推荐值。⑤羊场种养循环利用技术，根据种养结合循环农业的原理和类型，以肉羊养殖为核心，相应案例为依托，构建形式多样的种养结合循环农业模式。

适宜区域：四川农区及盆周山区。

推广情况：新技术推广以辐射适度规模肉羊养殖场为主，自该集成技术推广以来，各项成果和技术在成都市金堂、大邑、简阳、东部新区等市县（区），四川资阳乐至县、凉山州喜德县、美姑县、越西县等多个养殖场，进行了大面积推广，辐射带动肉羊养殖 100000 头，成效显著，形成在省内具有较大影响力和竞争力的科技优势。

2.2 畜禽粪污高温罐式发酵处理技术

技术原理：畜禽粪污高温罐式发酵处理技术采用高温密闭发酵罐，优化好氧发酵工艺，可提升发酵效率，有效去除发酵原料中含有的大量水分、草籽、虫卵等，破坏抗生素结构，钝化重金属，净化排出气体，避免二次污染；占地面积小、环境依赖性低、适用性强，可广泛用于畜禽粪便、菌渣及秸秆等废弃物的处理，实现除臭减排降损。主要工艺为前期处理→主发酵→后熟发酵→后加工。简要工艺流程如下图所示：

适宜区域：全省所有养殖场、养殖密集区、有机肥厂、粪污集中处理中心、农业废弃物综合处理中心、村镇生活垃圾处理中心等。

推广情况：据不完全统计，目前该技术在全省各县市均有应用，覆盖 2000 余家养殖场、粪污集中处理中心、有机肥厂、农业废弃物综合处理中心、村镇生活垃圾处理中心等。其良好的发酵效果有效地推动了全省畜禽粪污综合利用率和有机肥替代化肥比例不断提高，种养结合愈发紧密，粪污直排问题得到有力遏制。

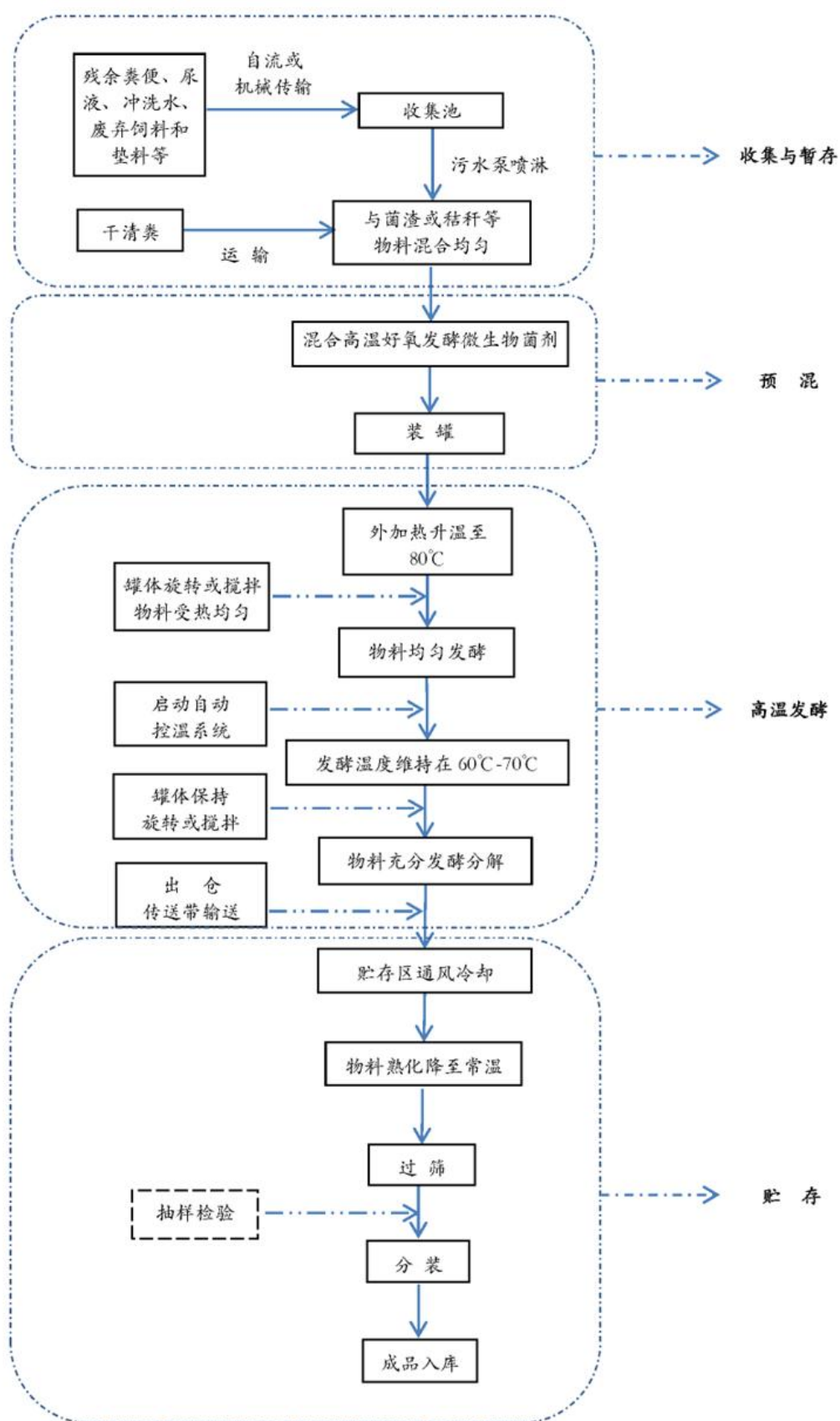


图 5-2 畜禽粪污高温罐式发酵处理工艺流程图

2.3 畜禽粪污膜式堆肥技术

技术原理：该技术结合工厂化堆肥技术与有机肥生产技术，将畜禽粪污和粉碎秸秆通过堆肥、辅以专属菌剂，加快堆肥腐熟进程，有效治理粪污污染、实现粪肥还田和有机肥替代化肥。具有环保无臭、投资少、运行成本低、发酵周期短、腐熟品质高、能耗低、适应能力强等特点，可为全省畜禽粪肥还田利用、“十四五”农业绿色发展提供技术支撑，技术工艺流程图 5-3 如下所示：

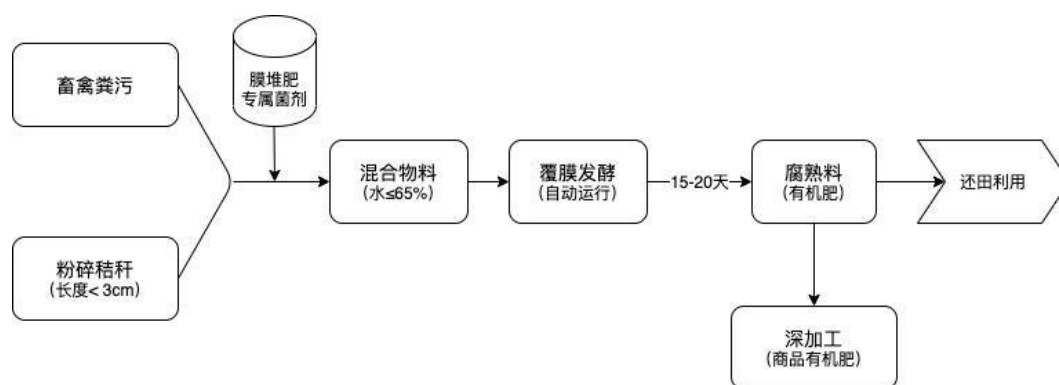


图 5-3 畜禽粪污膜式堆肥工艺流程图

适宜区域：四川全省（适用于养殖场、有机肥厂、粪污处理中心、村镇生活垃圾处理中心等）。

推广情况：该技术在 2020 年 11 月农业农村部全国现代畜牧业推进会议暨畜禽养殖废弃物资源化利用现场会作为好氧堆肥技术展示，被与会领导、专家评价：技术成熟，适用面广，生态、社会、经济效益显著，有助于推动粪肥还田和有机肥替代化肥。2020—2021 年在全国 20 个省（自治区、直辖市）广泛应用，累计示范推广约 300 家养殖场、粪污处理中心、有机肥厂，处理畜禽粪污、秸秆等固废数百万吨。有效促进畜禽粪污资源化利用和农业面源污染防治工作。

（三）农膜处置技术

1.一膜多用

技术特点：一般选用厚度适中，韧性好，抗老化能力强的地膜，第一年使用后如果基本没有破损，第二年直接在上面打孔免耕播种，提高农膜的使用率，减少废弃农膜量。

适宜区域：地膜使用量大的地区。

提质增效：一膜多用技术可降低生产成本，延长地膜地面覆盖时间，保蓄雨水，最大限度利用自然降水，有效地减少地膜用量，防治地膜残留污染。

2.宽膜覆盖

技术特点：宽膜覆盖技术可在不影响作物生长的前提下，增加行间距，减少地膜的田间覆盖度。

适宜区域：地膜使用量大的地区。

提质增效：降低地膜使用量，增产增效。

3.适时揭膜

技术特点：将作物收获后揭膜改变为收获前揭膜，能保持高地膜回收率，有利于降低田间湿度，抑制作物病害，同时有利于田间管理。

适宜区域：地膜使用量大的地区。

提质增效：适时揭膜保持地膜完整性，从而提高回收利用率。

4.生物降解膜覆盖

技术特点：生物降解膜覆盖技术，即使用具有完全生物降解特性的农用地面覆盖薄膜，替代普通聚乙烯地膜，在光、水、热及微生物

的作用下，最终完全降解变成二氧化碳（CO₂）或甲烷（CH₄）、水（H₂O）及其所含元素的矿化无机盐以及新的生物质。使用生物降解地膜是目前从源头解决农用地膜面源污染、实现农用地可持续发展的有效途径之一。

适宜区域：适宜在经济作物（蔬菜、烟草）区域。但需注意生物降解地膜，需要与当地的气候、土壤和作物需求相适应，选择符合《全生物降解农用地膜覆盖薄膜》（GB/T35795-2017）中规格要求的薄膜。

提质增效：使用生物降解地膜技术避免了普通 PE 地膜残留破坏土壤结构、影响农事作业、降低农产品品质等不良影响，且降解后对土壤及作物无毒副作用，可促进马铃薯增产 10%-20%、花生增产 10%，提高经济效益。

5.机械化地膜回收

技术特点：使用残膜回收机械对农田当年地表残膜以及历年存留在耕层的残膜进行回收，按照农业要求和作业时间分为三类：①秋后残膜回收技术。②作物苗期残膜回收技术。③耕层内残膜回收技术。由于区域、作物和种植方式的差异，在一个区域，或一个作物上需要通过单项技术应用和多项技术组合应用，实现农田地膜污染综合防控。

适宜区域：适宜于田块地势平坦、地膜大面积集中连片区域。但需注意机械化地膜回收技术应考虑残膜与茎秆、杂草、叶片等选择机具。有机肥在铺全生物降解膜前至少提前 15 天施入土壤并充分混合，避免地膜直接接触有机肥，防止地膜过早降解。

提质增效：机械化地膜回收技术可一次性完成多项作业，提高劳

动生产率和残膜回收率，有利于播种、施肥和田间管理等环节机械化作业，为农业生产增收创造有利条件。

技术推广：2020 年以来，以上技术均在攀西地区的米易、西昌、冕宁和成都平原的彭州等地开展试验示范和推广应用。经过多年示范推广和不断改进，已形成较完备的综合技术措施，累计开展技术培训 6 次，培训 400 余人次，推广应用 20 余万亩。

（四）农药包装处置技术

1.农药包装废弃物回收处置技术

据四川省农业农村厅网站报道，全省各市高度重视农业包装废弃物回收处置工作，其中遂宁市射洪市、内江市隆昌市、乐山市、眉山市等市（县）成效显著。

1.1 遂宁市射洪市

射洪市农业农村局高度重视农药包装废弃物回收工作，把农药包装废弃物回收作为农业农村面源污染治理、乡村环境整治等环保工作重要内容，2020 年农药包装废弃物回收率达到 71.37%。一是加强工作指导，制发农药包装废弃物回收工作方案，发送植保情报 20 期 500 余份、短信 20000 余条，覆盖指导 5 万余人，实地指导 200 余家农资经销商建立农药包装废弃物回收台账。二是加强基础建设，所有农药经营门店全部配置回收设置，建立回收台账。三是加强监督管理，将农药包装废弃物回收工作纳入乡镇工作年度考核内容之一、作为农药经销门店颁证条件之一、作为植保社会化服务组织项目承接主体优先条件之一。

1.2 内江市隆昌市

隆昌市紧扣“五大振兴”，采取有效措施大力推进实施乡村振兴战略，亮点纷呈，成效明显。完善农药包装废弃物回收体系，通过建立农药包装废弃物回收台账、设立农药包装废弃物回收点、放置农药包装废弃物回收桶等方式，回收农药包装废弃物 23.54 吨，回收率达 80.6%。

1.3 乐山市

乐山市各区（县）积极开展农药包装废弃物回收工作，建立回收点，完善回收体系，农药包装废弃物回收量达 59.995 吨，粮经作物主产区农药包装废弃物回收率达 73.38%。

1.4 眉山市

举办农药包装废弃物回收专题培训班 12 期，发放眉山市农业面源污染宣传挂图 1 万余份、科学安全用药宣传挂图 5600 份。加强使用端管控，建立农药包装废弃物回收点 2224 个，试点开展农药废弃物“押金制”回收机制，按照不低于原价值 10%且不低于 1 元的比例收取废弃物交回押金，实现押金收退流程规范化和监管全程化。2020 年全市农药包装废弃物回收率达 72.93%。

（五）塑料处置技术

废弃塑料的回收利用主要包括物质回收和能量回收两大类，各种主要回收方法详见下图 5-4。国际回收标准指南按回收优先顺序，将废弃塑料回收利用分为四级，第一，二级为材料再生，即物理回收，第三级为化学回收，制取化学品或油品，第四级为废弃塑料焚烧，回

收能量。

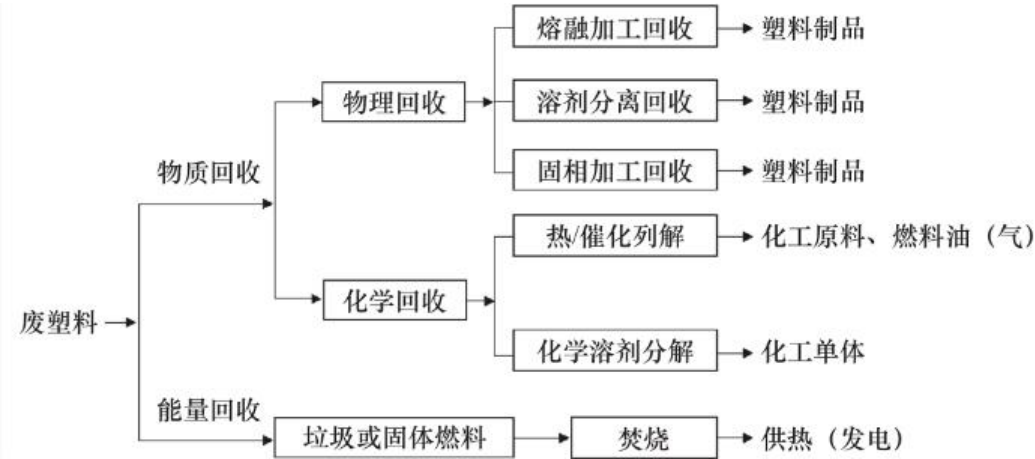


图 5-4 废弃塑料主要回收方法

1.物理回收

物理回收不改变塑料化学组成，主要通过收集—粗略分类挑选—简单清洗破碎—熔融加工等制备再生塑料制品，广泛用于单一材质的热塑性废弃塑料回收利用，如回收利用废弃聚酯瓶制备再生涤纶纤维、废弃聚苯乙烯泡沫制备装饰制品等。但塑料制品 60%以上是应用于航空航天、电子电器、交通运输等领域的结构件和功能件，其所需的高性能多功能通过共混复合、交联等实现，废弃后难以回收利用。传统熔融加工方法，因共混复合型器件难分类难分离，组分相容性差、熔点差异大、熔体黏度不匹配，再生制品相畴尺寸大，性能差，无应用价值；交联型不熔不溶，难再加工，大多只有填埋或焚烧，造成严重的环境污染和能源资源浪费，已成为解决塑料污染治理的瓶颈和难点。

2.化学回收

化学回收采用裂解技术将废弃塑料降级回收为可再次使用的燃料（汽油、柴油等）或化工原料（乙烯、丙烯等）。由于化学回收装备复杂、能耗高，从经济角度一直被认为难以推广应用。近年来化学

回收技术发展迅速,许多企业已做到了商业化,并拟在未来扩大规模。但是高温热裂解温度高,反应时间长,产率低,产物复杂,易产生有害气体造成二次污染,经济性较差;催化裂解和溶剂分解是化学回收的发展方向,但尚需提高催化剂效率和发展绿色溶剂。

3.能量回收

能量回收,即燃烧回收热能,主要适用于传统物理法和化学法无法回收利用的污染严重的废旧塑料,通过垃圾焚烧产生高温气体用于发电。但焚烧会产生氯化氢、二噁英、多环芳烃等有毒气体,造成大气二次污染。应加大开展先进的绿色高温焚烧设备的研制,实现安全清洁焚烧。

综上,上述几种典型农业废弃物,均具备较为成熟的处理处置技术,其中秸秆与畜禽养殖粪污以资源化利用技术为主,农膜、农药包装及塑料以回收技术为主,主要涉及技术概况如表 5-1 所示。

表 5-1 农业废弃物处理处置技术概况

污染物类型	技术名称	技术原理	技术特点	应用领域
秸秆	秸秆就地就近膜式快腐堆肥还田技术	结合工厂化堆肥技术与就地收集生产有机肥技术,通过堆肥高温灭虫,减少秸秆病虫害风险,实现秸秆田间地头就地就近还田。	避免收集运输等高成本环节,大幅降低秸秆间接还田成本;堆肥配合发酵微生物菌剂加快了秸秆的腐熟进程;有效杀灭秸秆病虫,降低还田病虫害风险。	丘陵、山地区域等秸秆转运不便区域。
	农作物秸秆异位覆盖还田技术	稻秆还田后快速腐解,转化成有机质和速效养分,增加氮、磷,特别是有机质和速效钾含量,蓄水保墒、调节地温和减缓土壤水分,调节土壤 pH 值,提高土壤生物活性、改良土壤。	技术成熟,操作简单,减少土壤水分蒸发 25%—30%,抑制杂草减少施药次数,防治成本节约 30%—40%,秸秆有机替代化肥 10%—15%,降低施肥成本 10%左右,提高土壤有机质 0.3%—0.5%减少地膜用	土层薄、肥力低、干旱缺水的四川丘陵地区果园、中药材等种植区域。

污染物类型	技术名称	技术原理	技术特点	应用领域
			量，实现节本增效绿色高质量生产。	
	秸秆炭化还田改土固碳减排技术	通过使用生物炭基农业投入品，提高作物产量、固碳减排、治理环境污染。	提升土壤有机质、pH 值，实现作物增产，降低化肥使用量，有效解决土壤肥力欠缺，实现耕地质量提升与农田固碳减排多重目标。	粮食主产区或经济作物主产区等秸秆枝条量丰富的地区。特别适合土壤有机质含量低、土壤板结/黏重/酸化和存在连作障碍或轻度污染的区域。
	秸秆饲料化贮藏关键技术	秸秆营养丰富，可饲料化利用的农作物秸秆种类主要为玉米、小麦、水稻、豆类、薯类和花生等秸秆，根据不同秸秆采用贮藏方式，提高秸秆饲料产量和品质。	扩大饲料来源，降低饲料成本，提高秸秆饲料化贮藏的品质，有效避免秸秆占用耕地、焚烧等引起的环境问题。	四川平坝、丘陵以及类似生态区。
	秸秆生物制浆与肥料联产技术	利用生物处理技术，通过微生物菌靶向分解，将秸秆中的高分子链断裂，提取适合造纸的秸秆纤维原料，生产纤维素地膜、育苗钵、餐具及工业塑膜包装等产品；生物制浆提取液，富含微生物、微量元素及腐殖酸，复配形成水溶肥。	生产过程清洁环保，废水、废气、废渣零排放。高阶产品价值高、应用范围广，缓解不可再生资源的短缺。	粮食主产区等秸秆丰富地区，适用的秸秆主要有稻草、小麦、玉米、大豆等。
畜禽养殖粪污	畜禽粪污能肥利用协同技术	利用畜禽粪污厌氧发酵制取沼气，通过沼气发电上网或者提纯生物天然气，生产可再生能源，厌氧残留物沼液沼渣通过田间储肥布肥、当季用肥、跨季储肥进行肥料化还田，通过空间换时间，实现沼肥周年稳定消纳，达到畜禽粪污能、肥协同利用。	集中统一处理，减少小规模养殖场粪污处理设施的投资；专业化运行，能源化利用效率高。但一次性投资高；能源产品品质低、利用难度大；沼液沼渣产生量大且集中，需构建农田布肥、储肥系统，以满足沼渣沼液周年消纳和降低转运成本的需求。	大型规模畜禽养殖场或养殖密集区，具备沼气发电上网或生物天然气进入管网条件。

污染物类型	技术名称	技术原理	技术特点	应用领域
	固体粪便肥料化利用技术	养殖场经过粪便收集、干燥、好氧堆肥发酵、制粒、灌装等过程生产专用有机肥。	好氧发酵温度高，粪便无害化处理较彻底，发酵周期短，堆肥处理提高粪便的附加值；好氧堆肥过程易产生大量臭气，需在实际应用过程中进行气体管控装备设施构建和技术方法开发。	适用于只有固体粪便、无污水产生的家禽养殖场或羊场等。
	异位发酵床技术	在养殖圈舍外或集中处理中心建设若干发酵槽，在发酵槽中按一定比例铺置垫料、喷淋畜禽粪污并进行翻抛混合、增加透气性，通过补充微生物制剂发酵使得畜禽粪污和垫料混合物得到降解。	可多次导入粪污循环进行发酵，发酵产生的高温将水分蒸发掉，粪便大部分被微生物分解，转化变成有机肥，最终实现养殖场粪污不对外排放；存在垫料成本较高、操作不当易死床以及重金属积累等问题。	异位发酵床处理的畜禽粪污浓度一般不低于 15%，最适用于刮粪板干清粪工艺处理模式。适合应用于耕地缺少的丘陵地区畜禽养殖场
	畜禽养殖废水还田回用技术	畜禽养殖废水进行厌氧发酵+好氧处理等组合工艺进行深度处理，通过系列物理化学和微生物作用后，废水达标后还田回用。	废水深度处理后，可实现还田回用，不需要建设大型粪水贮存池，可减少粪污贮存设施的用地，但废水处理成本高。	适用于养殖场周围有一定配套农田的规模化养殖场。
	羊场环境控制与粪污治理技术	采用羊粪自然堆肥+人工辅助发酵的办法进行羊粪的无害化处理；氧化塘、沉淀池、沼气池处理羊场污水；羊舍配套土地承载力评估；放牧草畜平衡承载能力评估；羊场种养循环利用。	对羊场圈舍建造技术、羊舍内环境控制技术、粪污无害化处理与资源化利用技术进行了集成和组装，实现成羊场环境控制与粪污协同治理。	四川农区及盆周山区。
	畜禽粪污高温罐式发酵处理技术	采用高温密闭发酵罐，优化好氧发酵工艺，可提升发酵效率，有效去除发酵原料中含有的大量水分、草籽、虫卵等，破坏抗生素结构，钝化重金属，净化排出气体。	占地面积小、环境依赖性低、适用性强，可广泛用于畜禽粪便、菌渣及秸秆等废弃物的处理，实现除臭减排降损。	全省所有养殖场、养殖密集区、有机肥厂、粪污集中处理中心、农业废弃物综合处理中心、村镇生活垃圾处理中心等。

污染物类型	技术名称	技术原理	技术特点	应用领域
	畜禽粪污膜式堆肥技术	结合工厂化堆肥技术与有机肥生产技术,将畜禽粪污和粉碎秸秆通过堆肥、辅以专属菌剂,加快堆肥腐熟进程,有效治理粪污污染、实现粪肥还田和有机肥替代化肥。	环保无臭、投资少、运行成本低、发酵周期短、腐熟品质高、能耗低、适应能力强。	四川全省(适用于养殖场、有机肥厂、粪污处理中心、村镇生活垃圾处理中心等)。
农膜	一膜多用技术	选用厚度适中,韧性好,抗老化能力强的地膜,第一年使用后如果基本没有破损,第二年直接在上面打孔免耕播种。	可降低生产成本,延长地膜地面覆盖时间,保蓄雨水,最大限度利用自然降水,有效地减少地膜用量,防治地膜残留污染。	地膜使用量大的地区。
	宽膜覆盖技术	不影响作物生长的前提下,增加行间距,减少地膜的田间覆盖度。	降低地膜使用量,增产增效。	地膜使用量大的地区。
	适时揭膜技术	将作物收获后揭膜改变为收获前揭膜,能保持高地膜回收率,有利于降低田间湿度,抑制作物病害,同时有利于田间管理。	保持地膜完整性,提高回收利用率。	地膜使用量大的地区。
	生物降解膜覆盖技术	用具有完全生物降解特性的农用地面覆盖薄膜,替代普通聚乙烯地膜,在光、水、热及微生物的作用下,最终完全降解变成二氧化碳(CO ₂)或甲烷(CH ₄)、水(H ₂ O)及其所含元素的矿化无机盐以及新的生物质。	源头解决农用地膜面源污染、实现农用可持续发展的有效途径之一。	适宜在经济作物(蔬菜、烟草)区域。但需注意生物降解地膜,需要与当地的气候、土壤和作物需求相适应。
	机械化地膜回收技术	使用残膜回收机械对农田当年地表残膜以及历年存留在耕层的残膜进行回收。	可一次性完成多项作业,提高劳动生产率和残膜回收率,有利于播种、施肥和田间管理等环节机械化作业,为农业生产增收创造有利条件。	适宜于田块地势平坦、地膜大面积集中连片区域。
农药包装	集中回收技术	将使用后的农药包装废弃物进行回收、设立回收点、建立回收台账,放置回收桶等。	有效回收农药包装废弃物达70%以上。	四川全省(适用于设有农药包装废弃物回收点等)。

污染物类型	技术名称	技术原理	技术特点	应用领域
塑料	物理回收技术	不改变塑料化学组成，主要通过收集—粗略分类挑选—简单清洗破碎—熔融加工等制备再生塑料制品。	操作条件温和、但处理对象范围窄，难以回收复合材质的塑料废弃物。	广泛用于单一材质的热塑性废弃塑料回收利用。
	化学回收技术	采用裂解技术将废弃塑料降级回收为可再次使用的燃料（汽油、柴油等）或化工原料（乙烯、丙烯等）	装备复杂、能耗高，成本高。	适用于化学可裂解塑料废弃物。
	能量回收技术	通过塑料垃圾焚烧产生高温气体用于发电。	产生氯化氢、二噁英、多环芳烃等有毒气体、造成大气二次污染。	适用于传统物理法和化学法无法回收利用的污染严重的废旧塑料。

四、农业固体废弃物处置技术典型应用案例

案例一：有机废弃物种养循环综合利用项目

项目名称：四川某农业开发有限公司

项目规模：处理有机废弃物 100 万吨/年

投资成本：2.2 亿元

技术工艺路线：

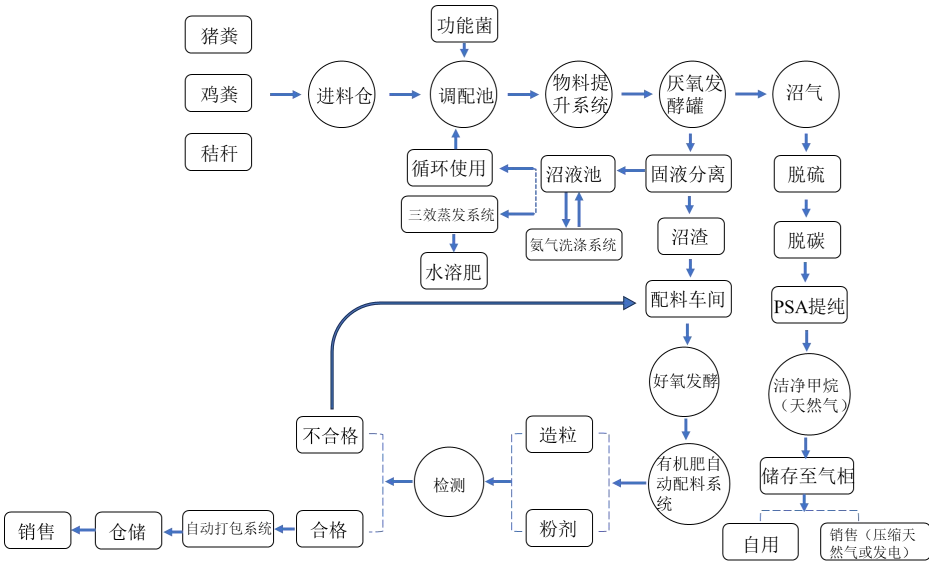


图 5-5 种养循环综合利用工艺流程图

治理效果：该项目获得 2015 年种养财政支持试点项目，安装生物发酵罐 12 个，通过厌氧发酵处理畜禽粪污、秸秆等有机废弃物，生成沼气、转化发电，沼渣堆肥产有机肥、沼液浓缩产水溶肥，实现种养废弃物综合利用、变废为宝。可处理有机废弃物 100 万吨/年，年可产 10000 万立方生物天然气，微生物有机肥 50 万吨，水溶肥 10 万吨，肥料市场覆盖四川、贵州、云南、重庆、陕西、甘肃等地区，年利税达上亿元，解决 100 余人就业问题，为当地乃至全川解决农业面源污染问题。

案例照片：



图 5-6 固体有机肥造粒设备（左图）和废弃物厌氧发酵设备（右图）



图 5-7 固体肥料产品照片

案例二：禽畜粪便秸秆等有机固体生产有机肥技术

项目名称：四川某生物有机肥有限责任公司禽畜粪便秸秆等有机固体生产有机肥项目

项目规模：年产 2 万吨

投资成本：2000 万元

技术工艺路线：

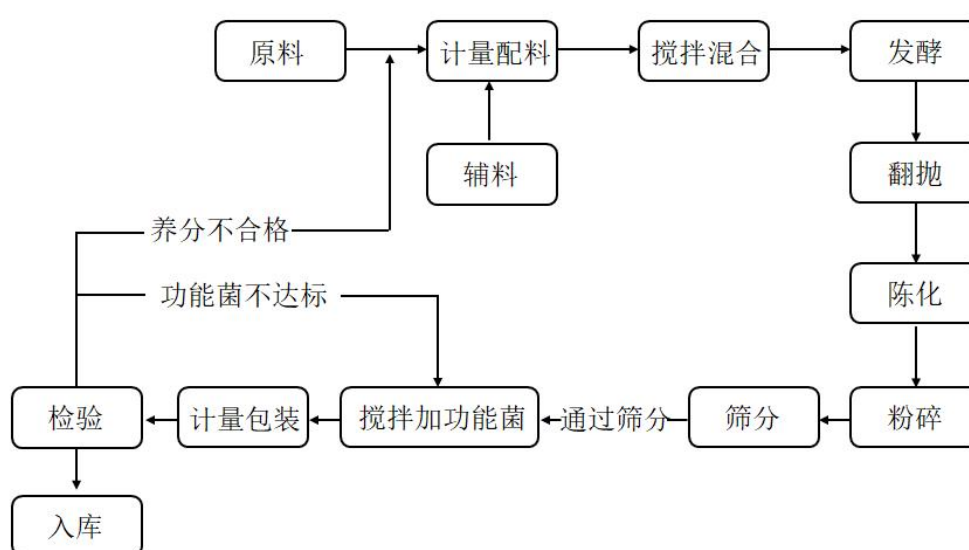


图 5-8 禽畜粪便秸秆等有机固体生产有机肥技术工艺流程图

治理效果：畜禽粪便对空气的污染主要是粪便有机物厌氧分解所产生的恶臭、有害气体以及携带病原微生物的粉尘。恶臭和有害气体主要包括 NH_3 、 CH_4 、 H_2S 、 $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ 和粪臭素等。畜禽废弃物对水体的污染主要表现为有机污染、N 和 P 污染，可造成水体的富营养化，使水中藻类大量繁殖，溶解氧降低，导致鱼类死亡。家禽的粪便中包含 铝、钡、钙、铬、锡、铜、铁、钾、镁、铂、钠、镍、氯、磷、铅、硫、铝、钒和锌等 21 种微量元素。这些物质进入土壤，超过环境容量时，就造成土壤污染。对土壤理化性质的影响，主要是畜禽粪

便施入田地后有机质的累积和阳离子交换量的增加，使无机盐积累，土壤中不易移动的磷酸在土壤下层富积，引起土壤板结。畜禽粪便及废水中含有大量的病原微生物、致病菌、寄生虫卵等。

该项目利用畜禽粪便为主要原料生产生物有机肥，发酵过程中对这些有害物质进行无公害处理，将 99% 污染气体转化为植物需要的养分，同时 95% 杀死有害微生物，处理效率达到 98% 以上。

案例照片：



图 5-9 固体有机肥生产设备（左图）和畜禽粪便堆肥发酵翻抛设备（右图）

五、结论与展望

（一）结论

我省作为农业和畜牧业大省，种养业产量长期位于全国前列。农业废弃物资源化利用不仅是农业废弃物污染处理的有效手段，也是促进种养行业增收、改善区域环境、推动绿色生态农业发展的关键，对推进长江经济带发展、乡村振兴、成渝地区双城经济圈建设等国家战略意义重大。

我省对农业废弃物资源化利用高度重视，出台了一系列政策规划文件，推动建设了一大批无害化处置及资源化利用设施，但农业废弃物处理和资源化利用技术的地方标准体系有待进一步完善。

全省秸秆、畜禽粪污资源化利用水平不断提升，肥料化和能源化是目前的主要技术方式，但现有技术资源化利用技术手段和水平仍需进一步升级优化。根据农业废弃物的特性，因地制宜，大力开发推广减碳增效技术，着力推进种养循环模式，实现全省区域农业生产环境改善，农业产业链闭环增效。

农膜、农药包装、塑料遵循“减量化、再利用”原则，大力推进减少源头用量、强化过程控制、加强回收效率，提倡再生利用，科学合理利用资源，推动农业绿色发展。

（二）展望

在国家战略政策交汇叠加下，农业废弃物资源化处置迎来了重大机遇。但我省农业废弃物资源化处置仍面临巨大挑战：种养行业增产和污染物排放减量矛盾突出；全省种养总量大，规模分布不均衡；四川地形复杂，平原、丘陵和山地共存，区域经济发展不平衡。为加快推进农业农村现代化，应统筹考虑保护生态环境与促进种养业发展的需要，以布局优化、结构调整、种养结合、强化监管为重点，推进农业废弃物由“治”向“用”转变，综合提高农业废弃物资源处置效率。

1.合理规划种养结合发展路径

提高种养匹配度，因地制宜科学选择工艺。以水稻、玉米、薯类、蔬菜、水果为重点推行粪肥就地就近还田利用；生猪养殖主要推广节水型清粪工艺，鼓励推行固体粪污膜堆肥、反应器堆肥，液体粪污密闭覆盖、酸化处理等臭气减排措施；在消纳耕地不足的区域，优先推广机械干清粪工艺，固体粪污以堆沤肥处理为主，液体粪污重点推广

沼气发酵、异位发酵床、贮存发酵等技术，在非环境敏感区积极引导沼液、沼渣还田利用；圈养养殖推广节水型清粪工艺，其中牛羊养殖推行粪污堆沤利用模式。

2.拓宽畜禽粪污资源化利用渠道

推广“生态养殖业+沼气工程+高效种植业”，加大沼气等农村清洁能源建设比重，在大型规模畜禽养殖场或养殖密集区，依托大规模养殖场或第三方粪污处理企业，建立沼渣沼液还田利用全产业链。鼓励工厂化堆肥处理、商品化有机肥生产技术，引导农户优先使用以畜禽粪便为原料的商品有机肥。推进粪肥收运和田间施用社会化服务建设，加快建设田间粪污储存、粪肥施用设施设备，配套灌溉管带和沼渣、沼液及粪污专用运输车辆，逐步改进粪肥施用方式，鼓励覆土施肥、沟施及注射式深施等精细化施肥，构建田间储肥布肥、当季用肥、跨季储肥为基础的种养循环工艺技术模式，拓宽沼渣沼液周年稳定利用渠道。

3.推广秸秆固碳减排新技术应用

在秸秆丰富且土壤有机质含量低、酸化土壤地区，推广秸秆炭化还田固碳减排技术，提高有机质含量和土壤 pH 值，降低碳排放。在山区丘陵地区，推广秸秆收集、转运、储藏技术，节约成本、用地，促进秸秆肥料/饲料化利用。在秸秆密集地区，推广秸秆生物制浆与肥料联产循环利用技术，以生物法为核心，开发高值化纤维素产品和高值肥料联产平台，提升秸秆资源综合利用附加值。

第六章 四川省城市矿产处理处置技术

城市矿产是指工业化和城镇化过程中产生和蕴藏于废旧机电设备、电线电缆、通讯工具、汽车、家电、电子产品、金属和塑料包装物以及废料中，可循环利用的钢铁、有色金属、贵金属、塑料、橡胶等资源，其利用量相当于原生矿产资源。“城市矿产”的循环利用不仅可以减少产废量，还可以减少原生资源和能源消耗、降低温室气体排放，是落实我国“双碳”战略的重要举措。开展“城市矿产”示范基地建设是缓解资源瓶颈约束，减轻环境污染的有效途径，也是发展循环经济，培育战略性新兴产业的重要内容。

四川省“城市矿产”存在底子薄、起步晚、规模小、技术落后等问题。同时，每年也会产生大量废弃资源，如有效利用，可替代部分原生资源，减轻环境污染。对废旧物分类、分拆、分解、分加工，从清洁生产、减量化消耗和零污染抓起，将废渣、废液、废气和粉尘排放严格限定在国家标准许可范围之内，可为再生资源产业的大发展、快发展和健康发展奠定良好的基础。我省 2022 年退役动力锂电池 0.92GWh，其中一部分退役量来自汽车拆解，退役量还未进入全国前十。但是，自从 2010 年国家大力开展家电“以旧换新”至今，作为国民家庭消费主要产品之一的家电确已经进入报废高峰期。因此，本章节以废旧家电为重点对城市矿产处理处置技术相关情况进行描述。

一、全省城市矿产处理处置现状

（一）城市矿产政策和管理现状

截止 2022 年底，全国有 109 家废旧家电拆解基金补贴企业和 88 家废旧动力电池回收利用白名单企业。针对废旧家电和废旧动力电池等城市主要矿产资源，2022 年国家出台了关于完善废旧家电回收处理体系推动家电更新消费的实施方案，以进一步完善行业标准规范、政策体系等。目前，我国已初步建立动力电池回收再利用体系，未来加快培育一批梯次利用和回收再生的相关企业，保障再生锂钴镍等金属的长期需求。

（二）废旧家电拆解企业分布情况

2022 年，全省纳入基金补贴的废旧家电拆解企业共 4 家，分别是，四川某环保科技股份有限公司、四川某资源开发有限公司、成都某科技股份有限公司、某环保科技有限公司。分别位于成都金堂、四川内江、成都彭州、德阳什邡，2022 年，全省废弃电器电子产品处理能力为 3472 万台套。

表 6-1 2022 年度全省废弃电器电子产品处理能力情况（单位：万台套/年）

类别	成都某科技股份有限公司	四川某环保科技股份有限公司	四川某资源开发有限公司	某环保科技有限公司
废冰箱	50	56	50	20
废电脑	40	110	21	10
废电视机	85	130	126	40
废空调	5	72	30	0
废洗衣机	40	92	55	30
其它新九类	1295	790	324	0
合计	1516	1250	606	100

（数据来源：四川省固体废物与化学品管理中心）

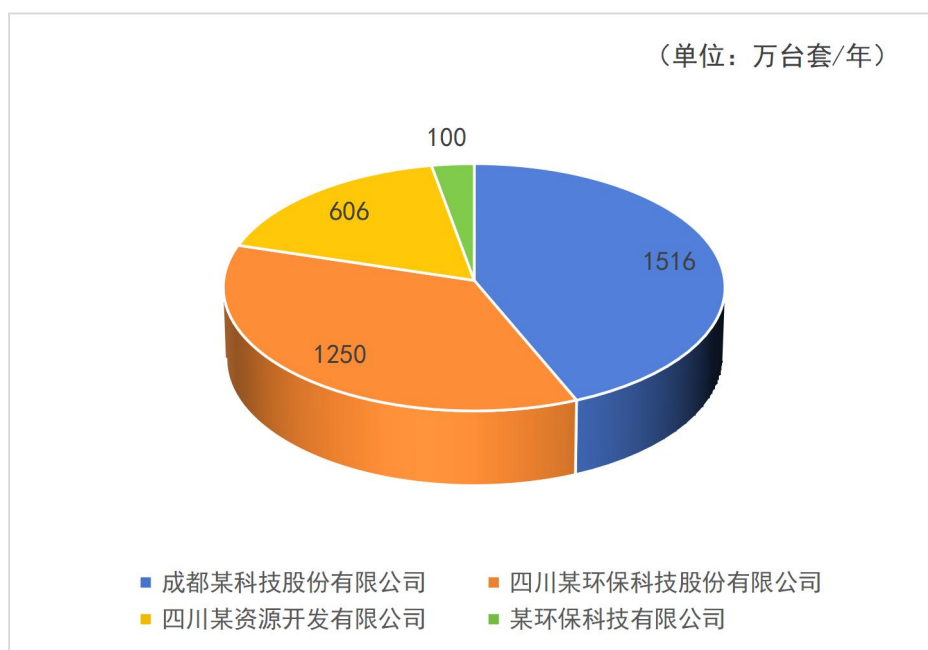


图 6-1 四川省废弃电器电子产品处理能力图 (单位：万台套/年)

(三) 废旧家电拆解处置情况

2022 年，四川省废旧家电规范拆解年处理能力已达 1221.5 万台（套），2012—2022 年全省共规范回收处理废旧家电超 6100 万台。2022 年度，全省 4 家废旧家电拆解企业共拆解处理 6013102 台（套）废旧家电（“四机一脑”），其中废电视机 2377079 台、废空调器 208845 套、废洗衣机 1247459 台、废冰箱 1015469 台、废电脑 1164250 套。

表 6-2 2022 年度全省 4 家废旧家电拆解企业处理情况 (单位：台套)

类别	成都某科技股份有限公司	四川某环保科技股份有限公司	四川某资源开发有限公司	某环保科技有限公司
废冰箱	349939	284841	234120	146569
废电脑	398668	636101	104147	25334
废电视机	648507	653015	758237	317320
废空调	20098	158670	30077	0
废洗衣机	398116	262361	354078	232904
合计	1815328	1994988	1480659	722127

(数据来源：四川省固体废物与化学品管理中心)

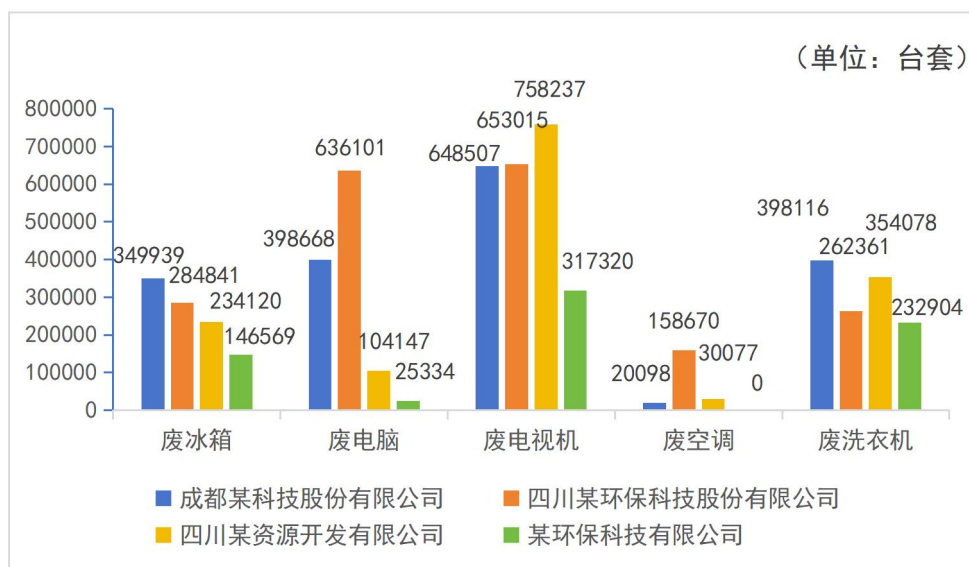


图 6-2 2022 年度四川省废旧家电拆解数据图

其中，废旧家电拆解产物主要包括铁及其合金、塑料、屏玻璃、压缩机、保温材料、电动机、铜及其合金、电路板、冷凝器、润滑油以及其他产品，具体占比分布如下图：

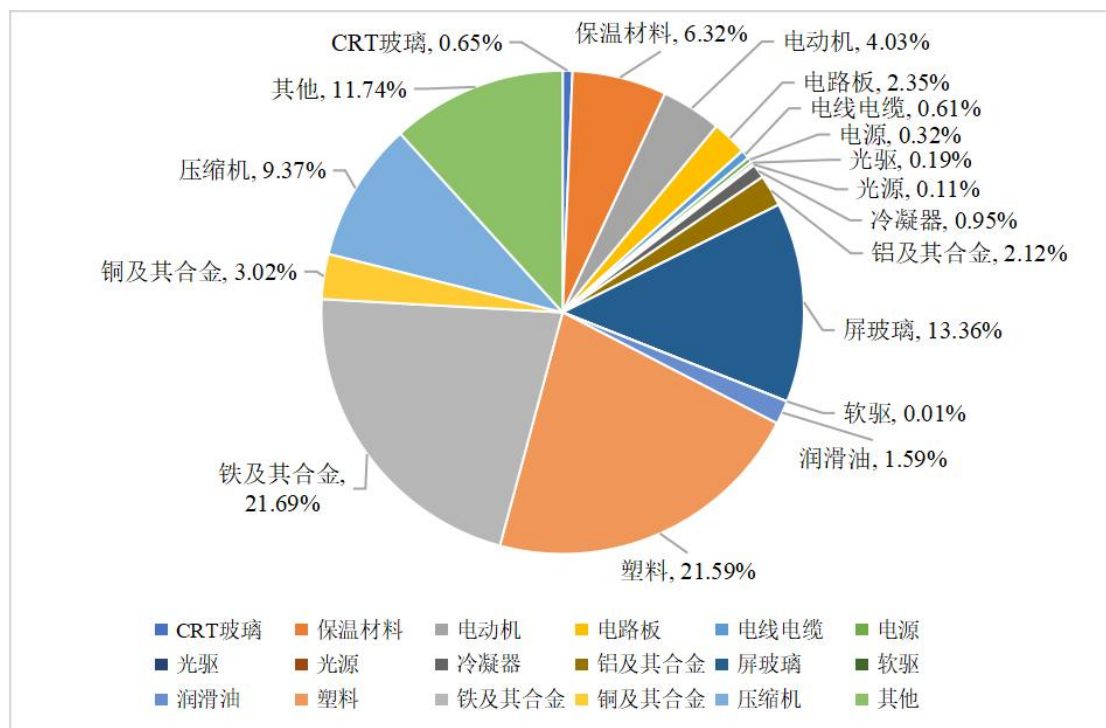


图 6-3 2022 年度废旧家电拆解产物占比分布图

2022 年 5 月，国家发改委等三部门联合发布了参加回收目标责任制行动的 6 家生产企业及回收目标，得到了行业广泛关注和重视。

长虹、海尔、格力、TCL、美的、海信 6 家家电生产企业通过 EPR 回收目标责任制行动。四川某企业 2022 年度回收目标完成率为 114%，其中电视机完成了 65.55 万台，回收目标完成率 101%；空调完成了 31.48 万台，回收目标完成率 157%。

表 6-3 2022 年度四川某企业 EPR 回收目标完成情况

指标	电视机	空调	合计
目标回收量（万台）	65	20	85
实际回收量（万台）	65.55	31.48	97.03
目标完成率（%）	101	157	114

（四）废旧动力电池回收处置情况

按动力电池使用寿命推算，我国动力锂电池即将面临规模化退役浪潮，据报道，全国 2022 年退役动力锂电池为 38GWh，我省 2022 年退役动力锂电池为 0.92GWh，退役量还未进入全国前十，2022 年度，我省白名单企业只有一家 - 四川某能源科技有限公司。

二、城市矿产处理处置技术水平与需求

（一）废旧家电拆解处理技术水平

目前，四川省废旧家电产品拆解处理采用手工拆解与机械处理相结合的方式，属于劳动密集型行业，四川省废旧家电产品处理技术和设备以国产为主，比如自动卸货平台等。处理技术包括废旧 CRT 电视机拆解工艺、废旧 CRT 电脑拆解工艺、废旧平板电视机拆解工艺、废旧液晶电脑拆解工艺、废旧空调拆解工艺（含室外机拆解工艺和室内机拆解工艺）、废旧洗衣机拆解工艺、废旧冰箱拆解工艺。处理设备主要包括废旧电视及电脑（可共用）拆解生产线、废旧空调及洗衣机（可共用）拆解生产线、废旧冰箱拆解生产线。

表 6-4 废旧家电拆解主要设备

生产线	设备名称
废旧电视及电脑（可共用）拆解生产线	皮带传输线
	CRT 屏锥分离设备
	负压吸收装置
	金属打包机
	气动起子等小型设备
废旧空调及洗衣机（可共用）拆解生产线	皮带传输线
	制冷剂抽取设备
	电机移除设备
	气动起子等小型设备
废旧冰箱拆解生产线	废冰箱处理生产线（含制冷剂抽取设备）
	气动起子等小型设备



图 6-4 废旧家电拆解工艺流程图

（二）废旧家电拆解处理技术需求

废旧家电产品智能化拆解技术运用势在必行，这不仅有利于提升废旧家电规范化拆解水平，同时对企业提升经营能力和效益也具有非常大的促进作用。结合企业自身的废旧家电产品拆解处理综合管理系统，研究废旧家电产品拆解再利用全流程闭环管控关键技术，提高监管核查效率，提升拆解效率与资源回收再利用效率。

废旧家电拆解过程中碳减排的核算对促进企业精细化拆解水平、实现拆解产物产值最大化和废旧家电产品全生命周期的碳足迹测算

等提供数据支撑。碳排放因子系统边界为废旧家电产品处理工厂，包括生产能源消耗、生产辅助能源消耗、生活办公能源消耗三大部分，如图所示。依据系统边界与活动水平数据，进行清单数据分析，提出了 2022 年废旧家电产品拆解处理过程的碳排放因子，见表 6-5。

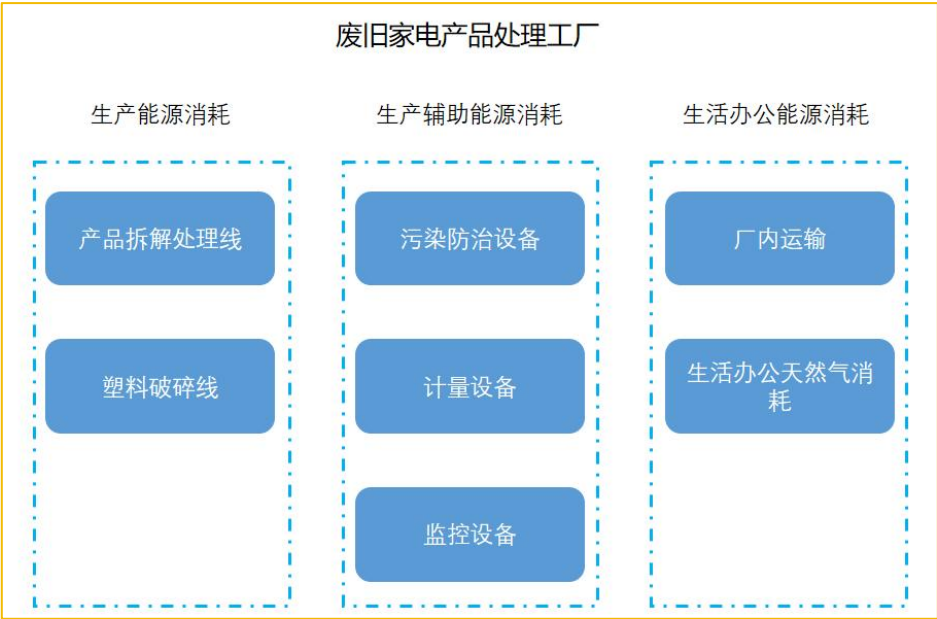


图 6-5 废旧家电产品处理工厂能源消耗边界图

表 6-5 2022 年废旧家电产品拆解处理过程的碳排放因子

废弃产品品类	废弃产品二级品类	排放因子	排放单位
冰箱	冷藏冷冻箱	39.74	kgCO ₂ -eq/台
	冰柜	27.31	kgCO ₂ -eq/台
房间空调器	柜机	28.77	kgCO ₂ -eq/台
	挂机	28.39	kgCO ₂ -eq/台
洗衣机	滚筒	34.84	kgCO ₂ -eq/台
	波轮	16.20	kgCO ₂ -eq/台
电视机	CRT电视机	23.33	kgCO ₂ -eq/台
	平板（液晶）电视机	5.44	kgCO ₂ -eq/台
微型计算机	CRT显示器	9.69	kgCO ₂ -eq/台
	液晶显示器	5.44	kgCO ₂ -eq/台
	电脑主机	6.67	kgCO ₂ -eq/台
	笔记本电脑	1.38	kgCO ₂ -eq/台

（数据来源：中国家电院）

三、城市矿产处理处置技术介绍

废旧家电拆解采用“预处理+物理破碎+多级分选”或“手工拆解”的处理方式，系物理方式，不涉及焚烧、填埋和化学处理方法的使用。有利于拆解产物的资源回收，选用先进设备，节能降耗。由于国家基金补贴标准呈下调趋势，因此该行业重点发展废旧家电再生利用，包括废电视机、废空调机、废洗衣机、废电冰箱和废电脑五大类家用废旧电器产品拆解后的废旧资源综合利用，废制冷剂、废电子元器件、废电路板回收利用，发展废塑料、废金属、废玻璃、稀有贵重金属、废旧荧光灯等回收及综合利用，产生的污染物主要有颗粒物（粉尘）、噪声、固废等，废旧电视机（空调器、洗衣机等）拆解过程产生的粉尘收集后通过布袋除尘或滤筒除尘装置处理后由 15m 高排气筒排放。废旧冰箱箱体破碎废气处理系统，采用布袋除尘+两级活性炭吸附装置后由 15m 高排气筒排放。

废旧家电拆解过程中污染物处理主流技术具体见表 6-6。

表 6-6 废旧家电拆解过程中污染物处理主流技术

序号	污染物类型	技术名称	技术原理	技术特点	应用领域
1	固废	精细化拆解	预处理+物理破碎+多级分选	资源充分利用	废旧家电拆解
2	粉尘	负压处理	布袋除尘+两级活性炭吸附	达标排放	废旧家电拆解
3	噪声	空间降噪	减震抗噪	符合国家标准	废旧家电拆解

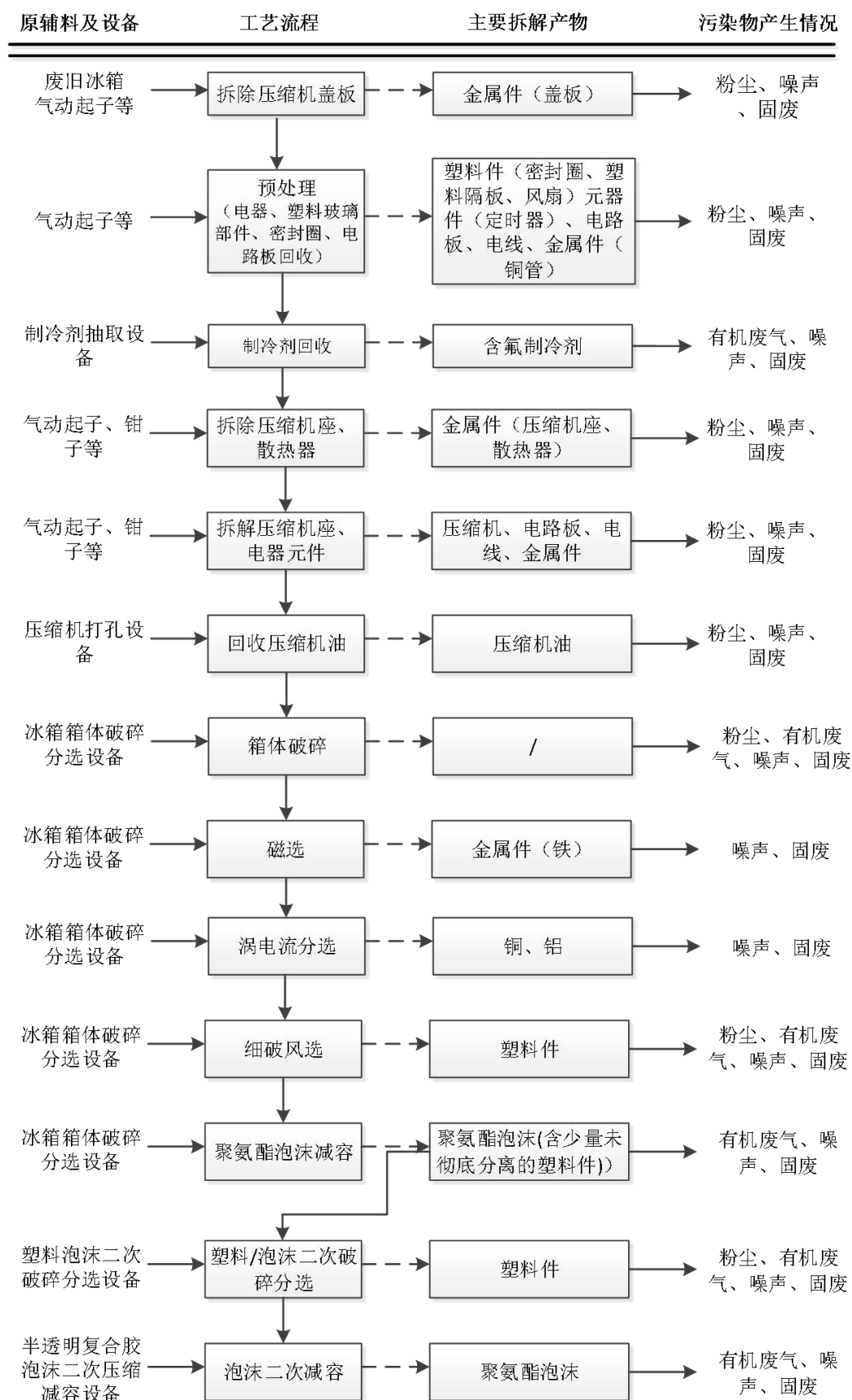


图 6-6 废旧冰箱拆解工艺流程及产污环节图

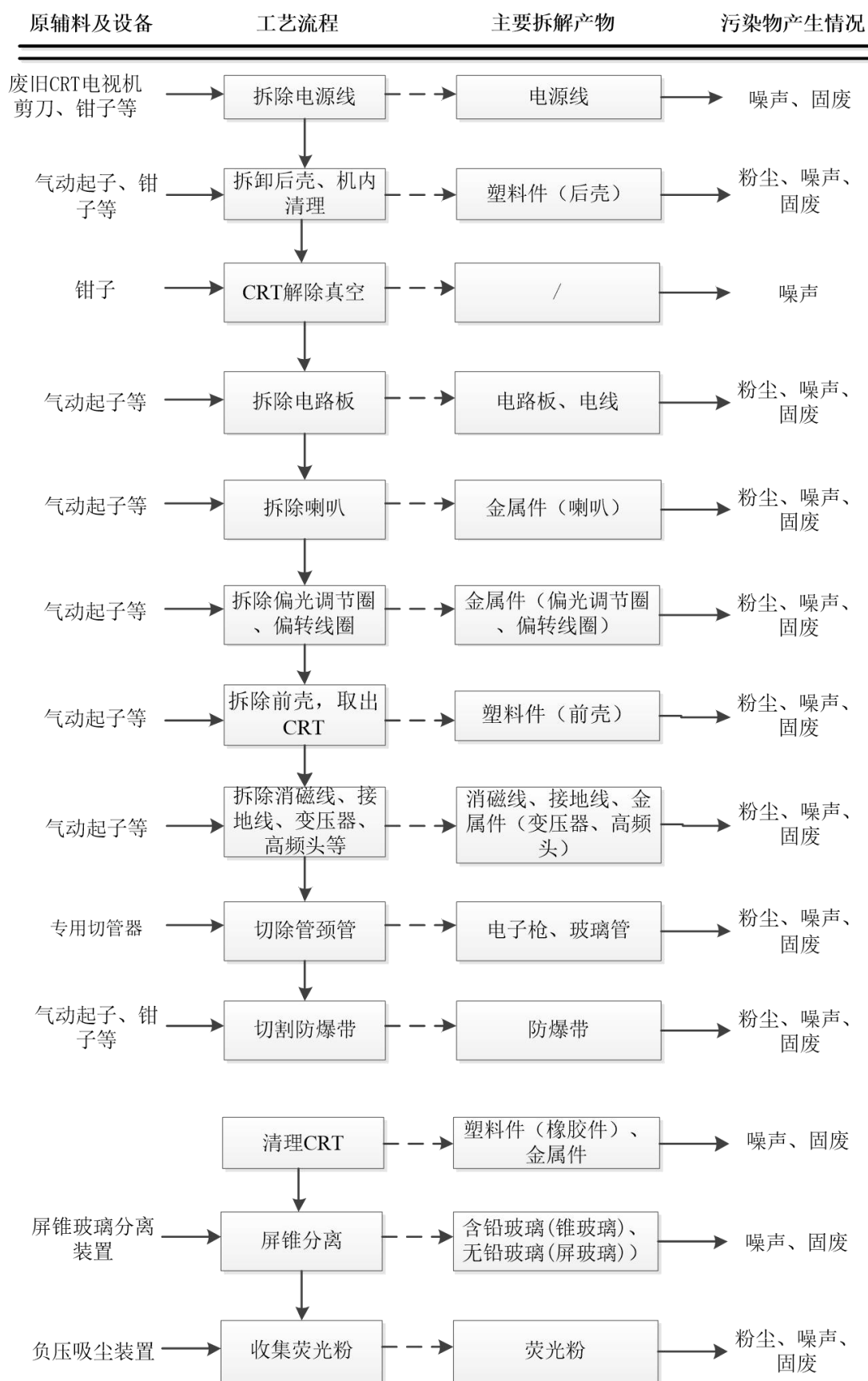


图 6-7 废旧 CRT 电视机拆解工艺流程及产污环节图

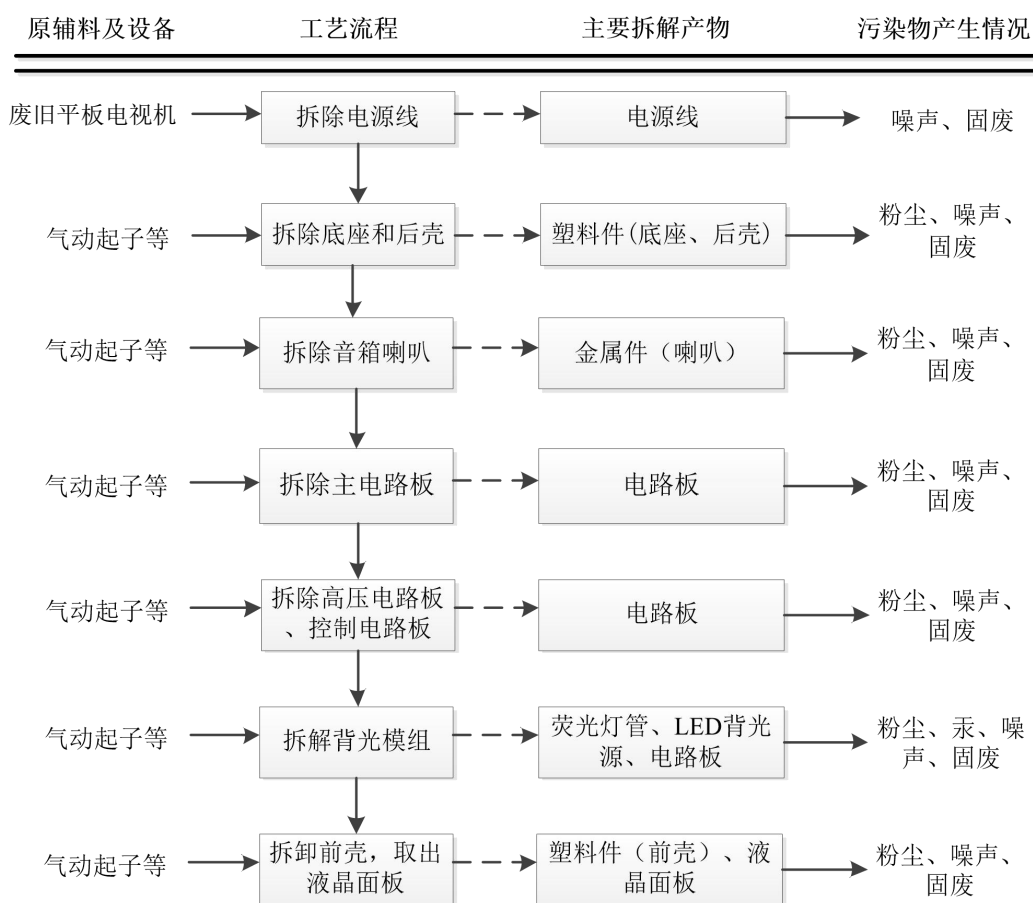


图 6-8 废旧平板电视机拆解工艺流程及产污环节图

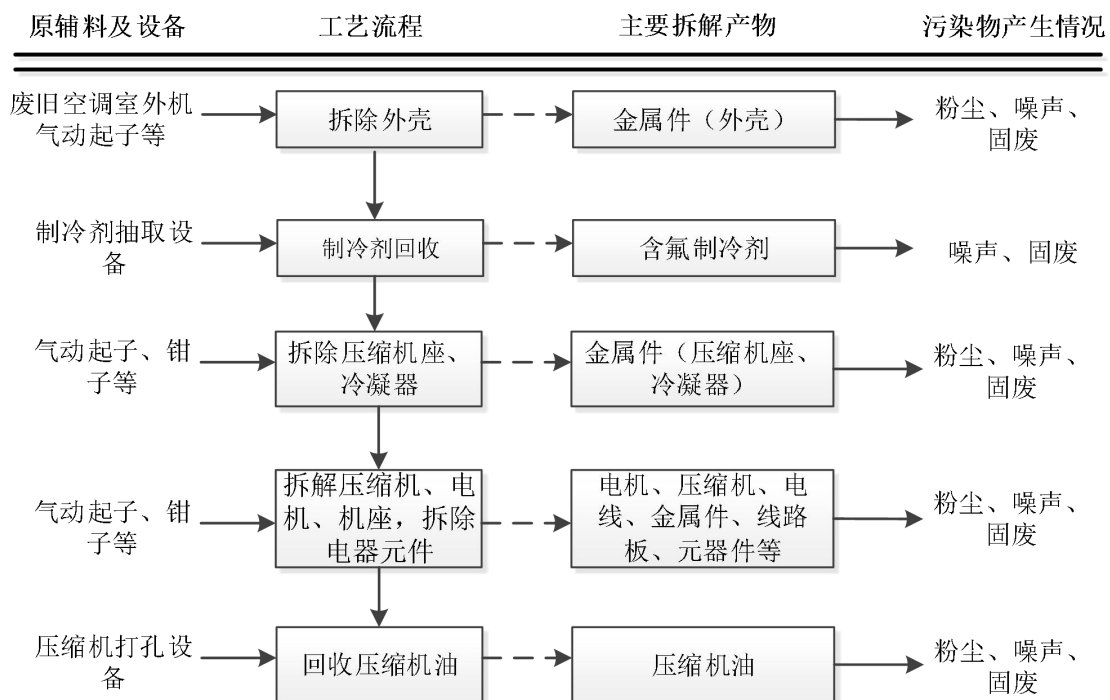


图 6-9 废旧空调室外机拆解工艺流程及产污环节图

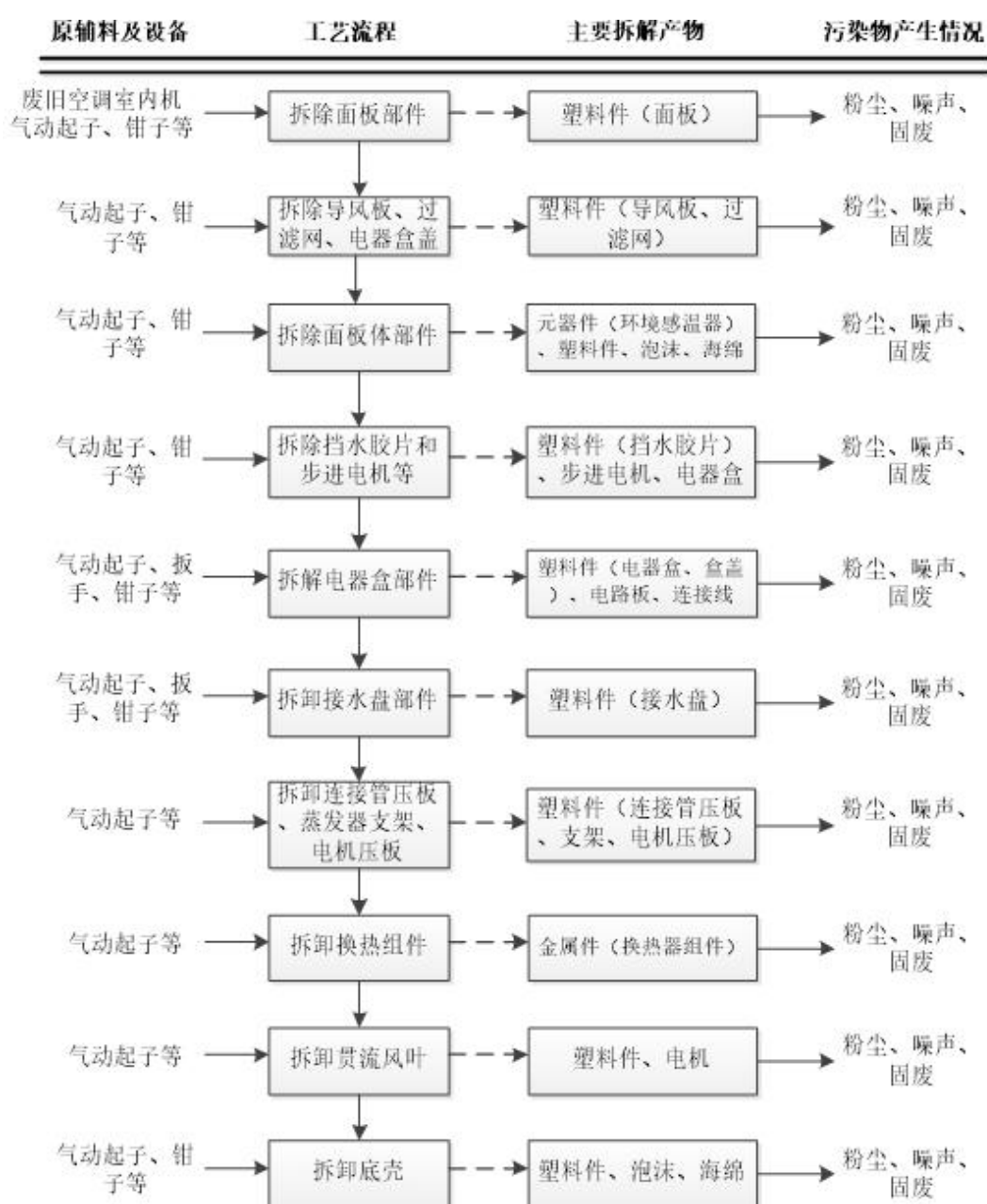


图 6-10 废旧空调室内机拆解工艺流程及产污环节图

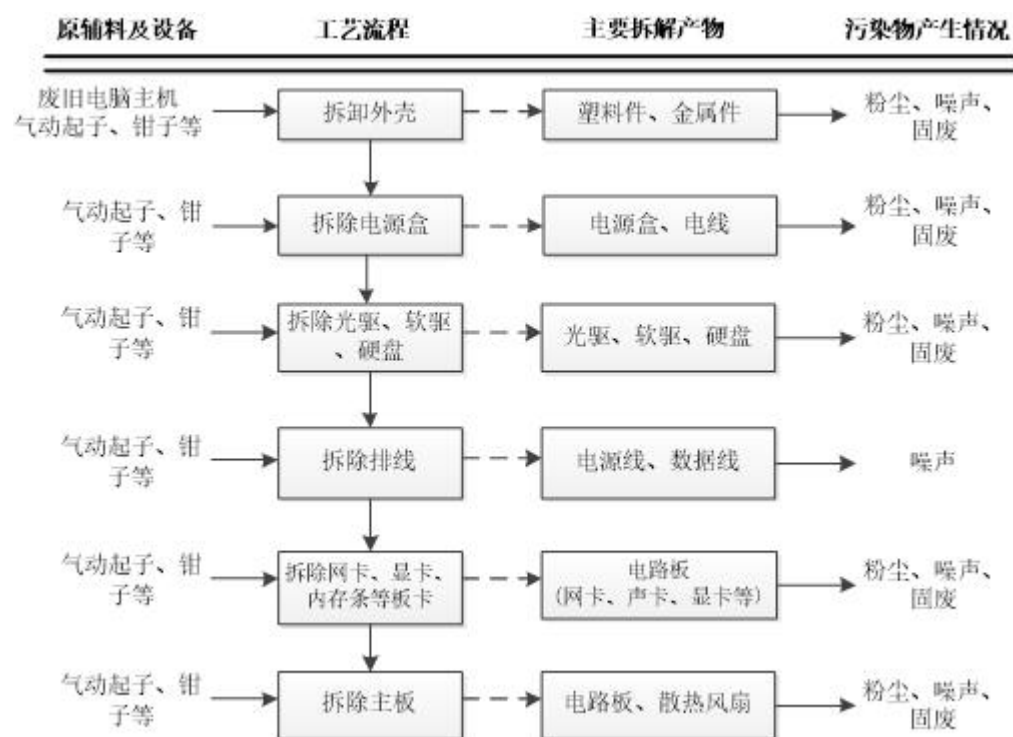


图 6-11 废旧电脑主机拆解工艺流程及产污环节图

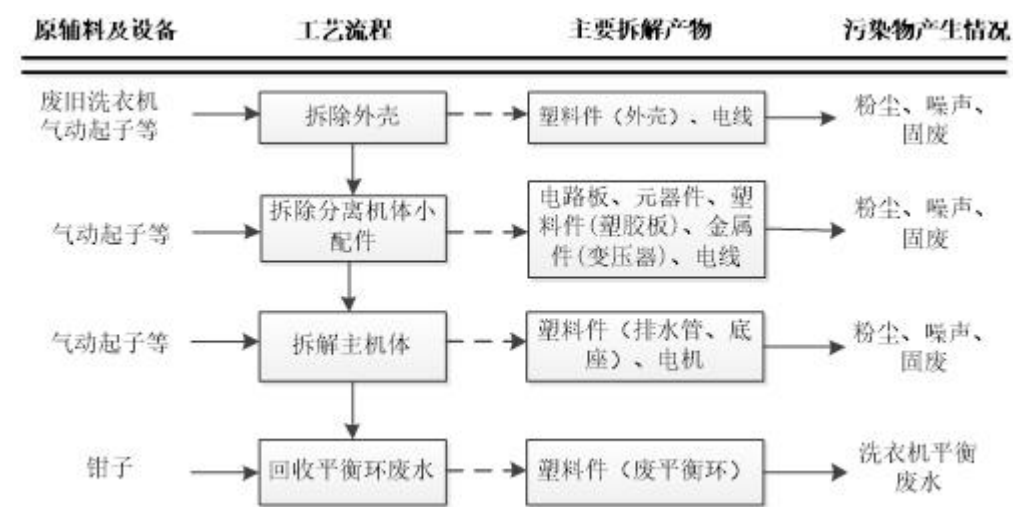


图 6-12 废旧洗衣机拆解工艺流程及产污环节图

四、城市矿产处理处置技术典型应用案例

案例一：废荧光灯及其他含汞电光源无害化处置技术

项目名称：四川某环保科技股份有限公司废荧光灯及其他含汞电光源无害化资源利用项目

项目规模：4000 吨/年

投资成本：3000 万元

技术工艺路线：

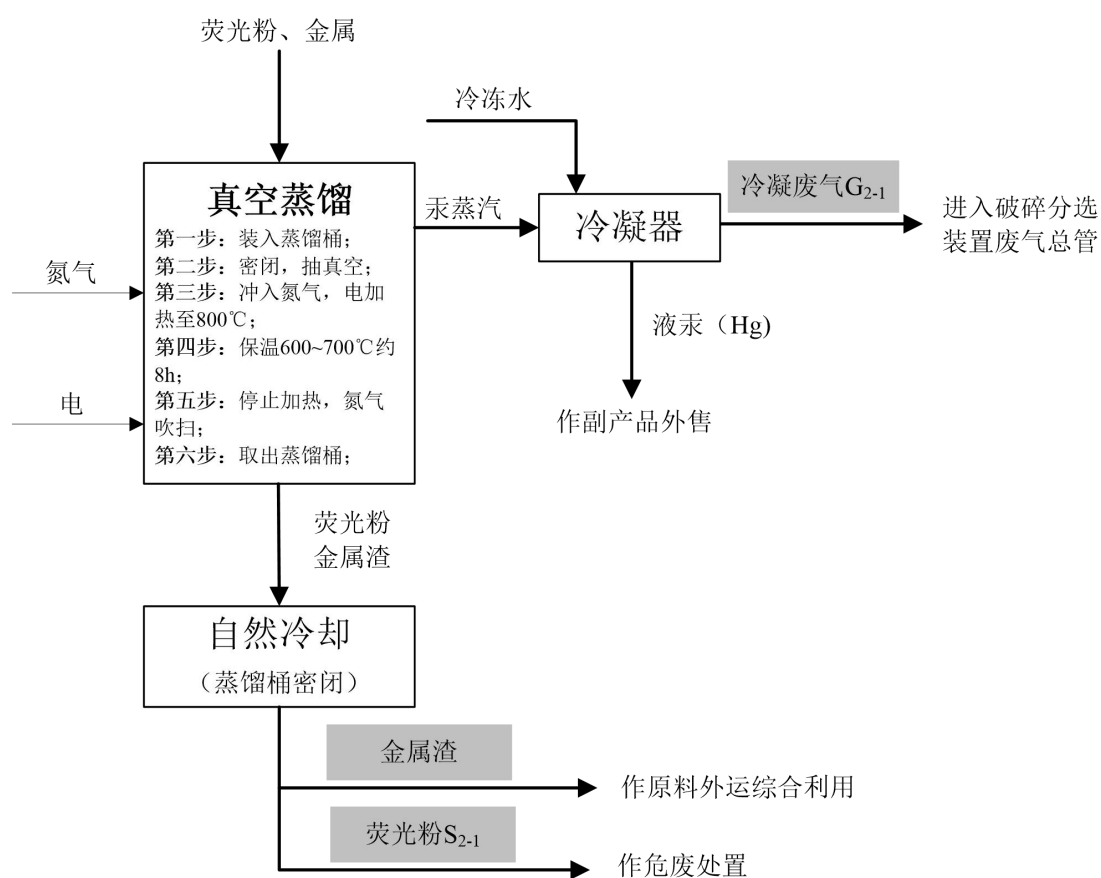


图 6-13 废旧荧光灯蒸馏回收装置工艺流程及产污环节示意图

治理效果：

表6-7 废荧光灯及其他含汞电光源无害化处置工艺治理效果

污染物类别	处理设施	排放总量	处理效率	执行标准
废气	布袋除尘器、载硫活性炭吸附装置	粉尘0.06t/a、汞0.16kg/a	99.9%	《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996) 二级标准
废水	中和+气浮+机械压缩蒸发器MVR	全部回用于生产线，不外排	100%	/
噪声	采用低噪声设备、基础减震、厂房隔声等措施	80~90dB (A)	削减10~20 dB (A)	《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008) 3 类标准

案例照片：



图 6-14 废荧光灯及其他含汞电光源无害化处置现场

案例二：废线路板拆解处理技术及烟气治理技术

项目名称：四川某资源开发有限公司废线路板处理升级改造项目

项目规模：1000 吨/年

投资成本：200 万元

技术工艺路线:

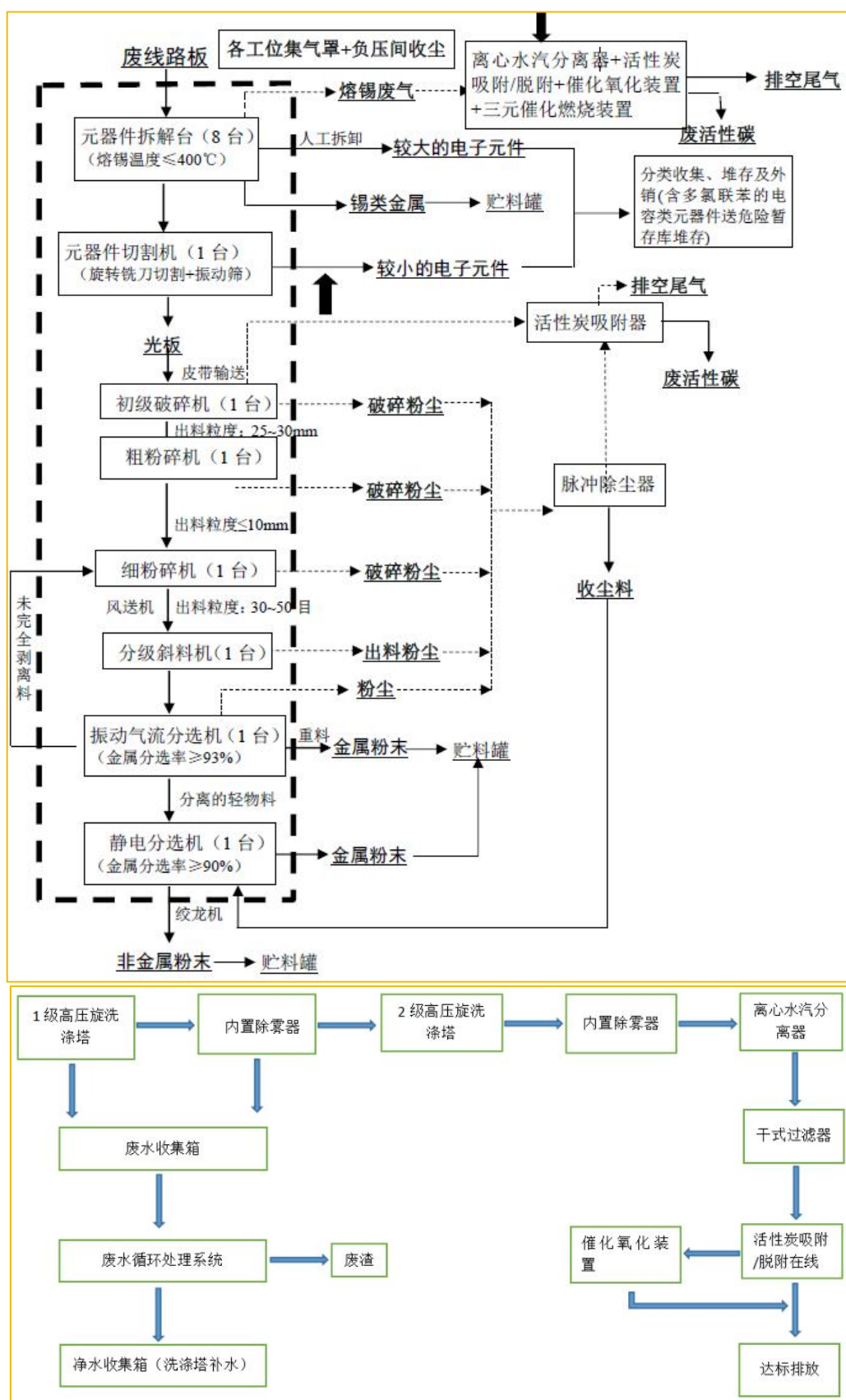


图 6-15 废线路板拆解处理技术及烟气治理工艺流程及产污环节示意图

治理效果：

表6-8 废线路板拆解处理技术及烟气治理效果

污染物类别	处理设施	排放总量	处理效率	执行标准
废气	高压旋洗+活性炭吸附/脱附+催化氧化燃烧	颗粒物108mg/m ³ 非甲烷总烃 108 mg/m ³ 臭气浓度10 mg/m ³	99.9%	《大气污染物综合排放标准》 (GB16297-1996) 二级标准
废水	自建废水处理系统	处理回用，少量废碱液交由危废经营单位处置	100%	/
噪声	采用低噪声设备、基础减震、厂房隔声等措施	55~65dB (A)	削减 10~20 dB (A)	《工业企业厂界环境噪声排放标准》 (GB 12348-2008) 3 类标准

案例照片：



图 6-16 废线路板拆解烟气治理设备

案例三：废旧热塑性弹性体（TPR）利用技术

项目名称：四川某环保科技股份有限公司废旧塑料改性再资源化项目

项目规模：20000 吨/年

投资成本：1000 万元

技术工艺路线：

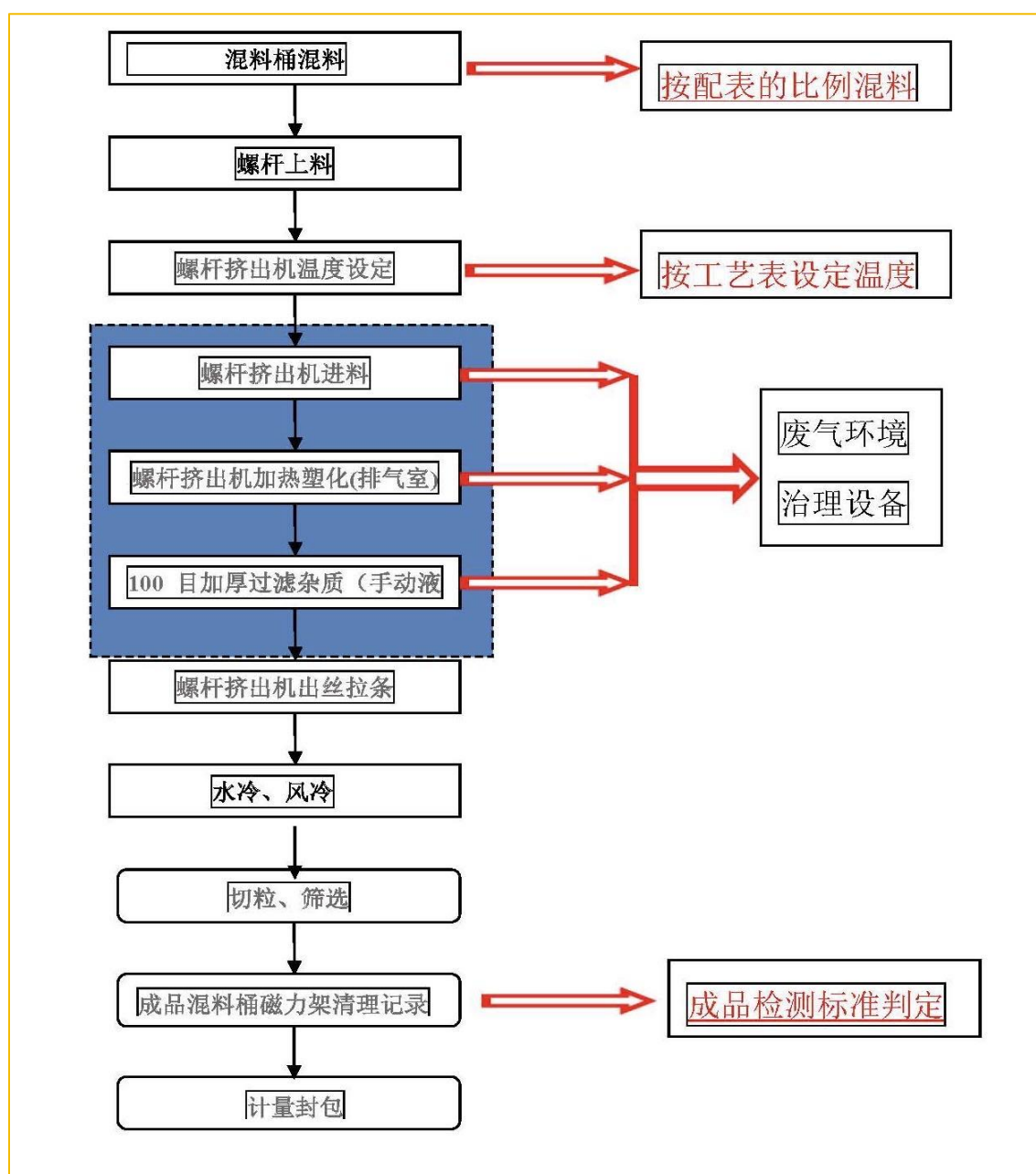


图 6-17 废旧热塑性弹性体（TPR）利用技术工艺流程及产污环节示意图

治理效果：

表6-9 废旧热塑性弹性体（TPR）利用理效果

污染物类别	处理设施	排放总量	处理效率	执行标准
废气	造粒设备有机废气：高效水喷淋+活性炭吸附	非甲烷总烃 有组织：1.11mg/m ³ 、 0.0133kg/h、0.0319t/a 无组织：0.007kg/h、	达标排放	《大气污染物综合排放标准》 (GB16297-1996) 二级标准

污染物类别	处理设施	排放总量	处理效率	执行标准
		0.017t/a		
		苯乙烯 有组织：0.38mg/m3、 0.00456kg/h、 0.0109t/a 无组织：0.0024kg/h、 0.006t/a		
	原料投放和塑 料分选粉尘： 袋式除尘器	有组织：0.9mg/m3、 0.0018kg/h、0.0045t/a	达标排放	
		无组织：0.0208kg/h 0.05t/a		
		有组织：0.55mg/m3、 0.0011kg/h、0.0027t/a		
		无组织：0.0125kg/h 0.03t/a		
废水	自建废水处理 系统	达标后 排入市政污 水管网	100%	《城镇污水处理厂 污染物排放标准》 （GB18918-2002） 一级A标准
噪声	采用低噪设 备、建筑隔声、 减振措施	<75dB(A)	削减10~20 dB (A)	《工业企业厂界环 境噪声排放标准》 (GB12348-2008) 3类标准

案例照片：



图 6-18 废旧塑料改性再资源化现场

五、结论与展望

（一）结论

废旧家电规范化、专业化拆解处置资源利用可以缓解产业发展和资源匮乏之间的矛盾，也是改变产业发展形势和产业结构的重要途径。

由于对废旧家电的有效回收和利用，避免了电子类固废的回收和处理的无序化，更好地缓解了环境的压力，促进环境友好型、资源节约型社会的建设。进一步规范四川电子固废的回收和处理，对大力发展循环经济和节能环保产业具有十分重要的推动作用；可进一步培养和提升人们对环境保护的意识，更好地实现固体废物污染防治。

（二）展望

全省各行业都在积极推动、落实“双碳”战略工作，废旧家电产品拆解处理行业在助力我国电器电子行业“双碳”目标的实现中将发挥关键作用，以推动废弃电器电子产品处理企业碳排放以及碳减排的进一步核算。废旧家电产品处理在“循环经济助力降碳行动”政策的推动下，全省废旧家电拆解企业将积极开展减排降碳和碳足迹研究工作。同时，在主管部门大力推动回收目标责任制行动、无废城市建设、绿色制造，以及拉动内需的政策中，全省废旧家电拆解处置行业也是最大的受益者之一。

另外，随着我国人工智能的发展，智能技术与处理技术的融合也得到快速发展。必将带动全省废旧家电拆解处理企业的智能化水平不断提高，不仅提高拆解效率，降低管理成本，同时也减轻了劳动强度，提升整体行业形象。

废旧家电和动力电池回收处置利用作为解决环保和补充上游资源的重要手段，是推动我国生态环境、家电和新能源产业持续健康发展的重要保障。建议进一步提升废旧家电和动力电池回收利用行业准入条件，完善政策体系，提升政策法规与标准规范的约束能力，加强综合利用领域人才培养。

第七章 四川省其他固废处理处置技术

生活污水、建筑垃圾和园林废弃物是我省在新型城镇化过程中面临的难题之一，其来源广泛，产生量大，处理工艺较复杂，其减量化、资源化、无害化处理处置工作有序开展，对于协同推进城市静脉产业高质量建设和生态环境高水平保护，推动我省城乡融合发展意义重大。

依据四川省环境统计数据，本章节以生活污水、建筑垃圾和园林废弃物三类典型城市固体废物处理与处置利用流程为主线，从其收集、运输、预处理、处理、处置和资源化等方面，充分体现“循环经济”理念，重点介绍了三类城市固体废物处置常用技术，总结了生活污水、建筑垃圾和园林废弃物的来源、组成和性质，概括了其产生方式、污染途径和控制方法，介绍了生活污水的脱水预处理技术，热化学处置技术和生物处理技术，以及建筑垃圾和园林废弃物的资源利用技术等，同时列举了两个针对生活污水的案例供参考，包括过程原理、设备特征、技术方法和工艺流程，最后针对下一步的发展方向和技术需求提出了建议。

一、全省其他固废处理处置现状

（一）四川省生活污水产处现状

1.四川省生活污水产生现状

随着基础设施投入的增加，2021年，四川省21市（州）共有各类污水处理厂1798座，其中城镇污水处理厂1436个，工业废水集中处理厂116个，农村集中式污水处理设施225个，其他污水处理设施21个，生活污水实际处理能力达到374807.29万吨。相比2020年，

2021 四川年全省污水处理厂新增 216 座，污水年处理能力增加 19.05%。

生活污水主要来自各类生活污水处理厂，2021 年四川省生活污水处理厂生活污水污泥产生量累计 463391 吨，以成都市生活污水污泥产生量最大，达 209974 吨，占全省生活污水污泥总产量的 45.31%，其次是德阳市、南充市、达州市和绵阳市，产量均大于 20000 吨，分别占全省生活污水污泥总产量的 7.11%、5.54%、4.84% 和 4.59%。相比 2020 年，2021 年四川全省生活污水污泥总产量增加 20.65%，其中攀枝花市、甘孜州、遂宁市、阿坝州、德阳市和资阳市生活污水污泥产量增加超过 100%，远高于全省平均水平。

总体来看，四川省生活污水污泥产量尚持续增长中，产量主要集中在经济发达、人口集中的成都平原经济区。主要集中在污水处理厂数量较多、规模较大的地区。生活污水污泥产生量排名前 5 的依次为成都市、南充市、泸州市、绵阳市、德阳市，占产生总量的 69.17%。

2.四川省生活污水污泥处置现状

《四川省城镇生活污水和城乡生活垃圾处理设施建设三年推进总体方案（2021—2023 年）》提出加快提升污泥无害化处理处置能力，按照“集散结合、适当集中”原则，统筹规划建设污泥无害化处理处置设施，加快改造现有未达标污泥处理处置设施。积极推广污泥垃圾协同处置，促进污泥资源化利用，逐步降低填埋处置所占比重。建制镇污水处理设施产生的污泥原则上应纳入城市集中无害化处置范围。加大非正规污泥堆放点和污泥处理处置单位的排查和整治力度，坚决查处污泥非法转移、堆放、倾倒、处置等违法行为。根据环境统

计数据，2021 年四川省城镇污水处理厂污泥处置利用总量为 477892.21 吨，处置利用率 100%。其中，污泥利用总量 217711.08 吨，占污泥处置利用总量的 45.56%，以土地利用为主，其次是建筑材料利用，分别占污泥处置利用总量的 32.60%和 12.96%；污泥总处置总量 260181.12 吨，占污泥处置利用总量的 54.44%，以焚烧处置为主，其次是填埋处置，分别占污泥处置利用总量的 44.77%和 9.67%。各类处置利用占比如图 7-1 所示。

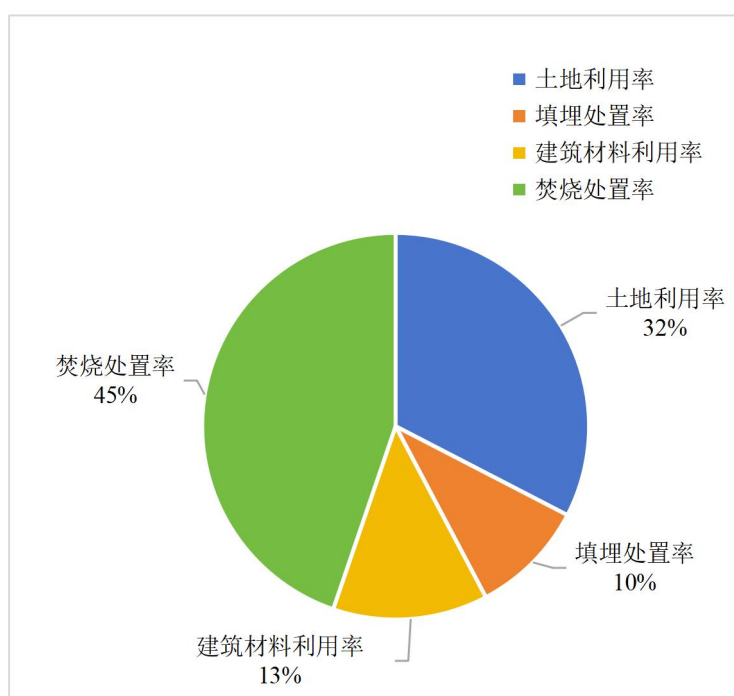


图 7-1 2021 年四川省城镇污水处理厂污泥处置利用占比

2021 年，四川全省 21 个市（州）的生活污泥处置利用率均达到了 100%，其中广元市、凉山州、德阳市、广安市、遂宁市、阿坝州和雅安市 7 个市（州）生活污泥以土地利用为主，土地利用率为 52.86%—92.04%；巴中市、泸州市、内江市和乐山市 4 个市生活污泥以建材利用为主，建材利用率在 43.30%—83.61%；甘孜州和攀枝花市 2 个市（州）生活污泥以填埋处置为主，填埋处置率分别为 86.27%

和 52.75%；眉山市、南充市、自贡市、资阳市、绵阳市、成都市、宜宾市和达州市 8 个市生活污水以焚烧处置为主，焚烧处置率在 48.03%—89.74%。

总体来看，四川全省污泥处置利用已走向更为减量化、资源化的方式，8 个市生活污水以焚烧处置为主，7 个市（州）生活污水以土地利用为主，全省生活污水焚烧处置率和土地利用率达到 44.77%和 32.60%。

（二）建筑垃圾产处现状

建筑垃圾包含工程渣土、工程泥浆、工程垃圾、拆除垃圾和装修垃圾五类，主要产生于建设、施工单位新建、改建、扩建和拆除各类建筑物、构筑物、管网等以及居民装饰装修房屋过程中所产生的弃土、弃料及其他废弃物。据《四川省“十四五”固体废物分类处置及资源化利用规划》显示，四川省 2020 年建筑垃圾产生量为 8370 万吨，主要以成都市为主，其中成都市的产生量约为 6700 万吨，主要处置方式以填埋和资源化为主，实际处理率低于 50%，目前成都市在用建筑垃圾处置场所有 10 家，设计处置规模 1488 万吨/年，分布在龙泉驿区、青白江区、新津区、郫都区等区域。

（三）园林绿化废弃物产处现状

根据 2020 年国家林业和草原局资料显示，我国绿化覆盖率达到 41.11%，据统计全国产生的园林废弃物将达到 4729 万吨，而我省并未有相关准确统计数据，按照城市绿地面积推算我国园林垃圾产生量，统计范围主要包括市政管辖内的道路、公园等，公园、大型公共绿地

园林废弃物产生量平均约为 1.0 kg/m^2 ; 居住区绿地园林废弃物产生量平均约为 0.6 kg/m^2 ; 单位绿地园林废弃物产生量平均约为 0.6 kg/m^2 ; 行道树产生的园林废弃物平均约为 50 kg/株 , 当前我省城市地区园林垃圾总产生量约为 180 万吨。

我国大多城市对园林绿化废弃物的处理依旧沿用比较传统的焚烧和填埋等方式, 对园林绿化废弃物的利用很少。随后部分发达城市如北京、上海、广州等开始对园林绿化废弃物进行资源化利用, 且经试验与研究后形成一系列技术指导性文件, 为带动其他城市进行园林绿化废弃物的处置提供指导性作用。上海市从 2006 年开始在静安区建立园林废弃物利用试验基地; 2009 年出台了《绿化植物废弃物处置技术规范》(DB31/T404—2009)。北京市在 2005 年修建了植物垃圾处理厂, 将园林废弃物制成栽培基质、食用菌的菌棒和压制成营养块, 实现生物质能源再利用; 2007 年出台《北京市园林绿化废弃物资源化发展规划》, 实现绿化废弃物的资源化利用。尽管如此, 2009 年北京园林绿化废弃物的有效利用率仍不足 5%, 其余大部分园林绿化废弃物作为城市固体废物随生活垃圾一同填埋或焚烧。为提高园林绿化废弃物的利用率, 加大园林废弃物的资源转化量, 2018 年 6 月 25 日北京市园林绿化局发文(京绿办发〔2018〕125 号)《关于加快园林绿化废弃物科学处置利用的意见》, 意见中指出“力争到 2020 年, 实现园林绿化废弃物应处尽处的目标”。但放眼其他城市, 绿化废弃物仍没有形成规模和产业链, 整个城区园林废弃物再利用率低。我省成都市在 2019 年公布了《成都市园林绿化垃圾分类收运处置实

施方案》，全市已建成园林绿化垃圾处理站 8 个，日处理能力达 410 吨，2022 年 11 月在《四川省“十四五”固体废物分类处置及资源化利用规划》中，提出运用园林垃圾破碎技术，实施林木就地堆肥利用，加强绿化垃圾源头处理，减少园林垃圾产生。

二、其他固废处理处置技术水平与需求

（一）生活污水技术水平与需求

1.污染防治技术水平

城市污水厂污泥的主要来源为污水处理厂初次沉淀池(含水率为 97%以上)和经过生物处理单元后二沉池的污泥(含水率为 99%以上),含水率高、体积大,对后续处理及运输极为不便。常规污泥处理技术主要包括预处理与最终处置两个过程,预处理即污泥产生单位内部以降低含水率为目的,先期开展的脱水处理、稳定化处理以及其他处理;污泥处置是指处理后污泥的消纳过程,处置方式主要有焚烧、建筑材料综合利用、土地利用、填埋等。

1.1 污泥预处理技术

1.1.1污泥浓缩

污泥浓缩的作用是通过重力或机械的方式去除污泥中的一部分水分,减小体积;污泥脱水的作用是通过机械的方式将污泥中的部分间隙水分离出来,进一步减小体积。浓缩污泥的含水率一般可达 94%—96%。常用的污泥机械脱水方式有带式压滤脱水、板框压滤脱水、离心脱水,脱水污泥的含水率一般可达到80%以下。

根据污泥含水率与污泥状态之间的关系,为了便于污泥处置时的

运输，污泥要脱水，使含水率降至80%以下，失去流态。通常，若污泥进行填埋，其含水率要在60%以下。

1.1.2 带式压滤脱水与离心脱水

污水厂污泥脱水主要采用带式压滤脱水和离心脱水两种，其中大部分为带式压滤。其中，采用带式压滤脱水的污泥量仅占总污泥量的32%，而离心脱水的污泥量所占比例高达61%，且在中大型污水厂中应用较多。所有污水厂污泥带式压滤和离心脱水均采用阳离子PAM作为絮凝剂，带式压滤脱水平均药剂投加量为4.37 kg/tDS，脱水污泥含水率为73.06%—82.0%；离心脱水平均药剂投加量为5.42 kg/tDS，脱水污泥含水率为68.50%—79.0%，离心脱水药剂投加量高于带式压滤脱水，而脱水污泥含水率更低。

采用板框压滤深度脱水，调理方式主要为化学调理，药剂包括PAM、钙盐（氢氧化钙/氧化钙）、铁盐（三氯化铁/聚合硫酸铁）、铝盐（三氯化铝、聚合氯化铝），不同工程药剂投加比例相差较大，即使同一工程不同季节药剂投加比例也会有显著的波动。

1.2 污泥最终处置技术

1.2.1 污泥焚烧

污泥焚烧可分为单独焚烧与协同焚烧。有条件的地区采用污泥焚烧工艺，或采用干化焚烧的联用方式，提高污泥的热能利用效率；污泥焚烧厂与垃圾焚烧厂合建，污泥作为低质燃料在火力发电厂焚烧炉、水泥窑或砖窑中混合焚烧，并对符合要求的炉渣进行建材综合利用。

（1）污泥采用单独焚烧时，泥质应满足《城镇污水处理厂污泥

处置 单独焚烧用泥质》(GB/T 24602), 焚烧炉渣必须与除尘设备收集的焚烧飞灰分别收集、贮存、运输和处置, 焚烧炉渣按一般固体废物处置, 焚烧飞灰应按危险废物处置。焚烧烟气排放控制要求应满足《固体废物污染物综合排放标准》(GB 16297), 其中二噁英控制应满足《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB 18485) 的相关规定。

(2) 污泥可与生活垃圾协同焚烧, 或在工业焚烧炉、火力发电厂焚烧炉中作燃料利用, 入炉污泥的质量宜小于垃圾(燃煤)量的20%。焚烧烟气排放控制要求应满足国家相应污染控制标准。

1.3 污泥建筑材料综合利用

污泥建筑材料综合利用是指污泥的无机化处理, 用于制作水泥添加剂、制砖、制轻质骨料和路基材料等。可推广污泥建筑材料综合利用, 污泥建筑材料利用应符合国家和地方的相关标准和规范要求, 并严格防范在生产和使用中造成二次污染。

(1) 污泥用于制水泥时, 水泥窑协同焚烧的设计应符合现行国家标准《水泥窑协同处置污泥工程设计规范》(GB 50757), 所制水泥质量应符合《通用硅酸盐水泥》(GB 175)、《硅酸盐水泥熟料》(GB/T 21372)、《水泥窑协同处置固体废物技术规范》(GB 30760) 中技术性能要求。污泥占总原料质量比(以干污泥计)不宜超过10%。

(2) 污泥用于制砖时, 污泥泥质应符合《城镇污水处理厂污泥处置 制砖用泥质》(GB/T 25031) 的规定, 利用污泥制备出的成品砖质量应当满足国家标准《烧结普通砖》(GB 5101)、《烧结多孔砖和多孔砌块》(GB 13544) 和《烧结空心砖和空心砌块》(GB 13545)

中的相关规定。有机质含量较低的污泥宜用于制砖。污泥占总原料重量比（以干污泥计）不宜超过 10%，在工业条件允许或产品需要的情况下，混合比例可适当提高。

（3）污泥可作为原料制备陶粒等轻质辅料，根据污泥泥质及其他原材料情况，通过试验确定原料配比，制备的陶粒品质应满足《轻集料及其试验方法 第 1 部分 轻集料》（GB/T 17431.1）的技术要求。

1.4 污泥土地利用

土地利用主要包括土地改良和园林绿化等，处理后符合标准的污泥产品可进行土地利用，土地利用应符合国家及地方的标准和规定。鼓励符合标准的污泥产品列入政府采购名录。在坡度较大或地下水水位较高的地点不应使用污泥产品进行土地利用，在饮用水水源保护地带严禁使用污泥产品进行土地利用。允许符合标准的污泥产品限制性农用。

（1）污泥产品用于园林绿化时，污泥必须首先进行稳定化和无害化处理，泥质应满足《城镇污水处理厂污泥处置 园林绿化用泥质》（GB/T 23486）的规定和有关标准要求。宜根据不同地域的土壤本底特性和植物习性等，确定合理的施用范围、施用量、施用方法和施用时间。污泥使用地的地下水和土壤的相关指标需满足《地下水质量标准》（GB/T 14848）、《土壤环境质量标准》（GB 15618）。

（2）污泥产品用于盐碱地、沙化地和废弃矿场等土地改良时，泥质应符合《城镇污水处理厂污泥处置 土地改良泥质》（GB/T 24600）的规定，并根据当地实际进行环境影响评价，经有关主管部门批准后

实施。污泥使用地的地下水和土壤的相关指标需满足《地下水质量标准》(GB/T 14848)《土壤环境质量标准》(GB 15618)。

(3) 污泥产品农用时，污泥必须进行稳定化和无害化处理，并达到《农用污泥中污染物控制标准》(GB 4284)等国家和地方现行的有关农用标准和规定。污泥产品应通过场地适用性环境影响评价和环境风险评估，并经有关部门审批后方可实施。污泥产品农用时，年用量累计不应超过 $7.5\text{t}/\text{hm}^2$ (以干基计，即含水率为 0)，连续使用不应超过 5 年。

1.5 污泥填埋

污泥填埋方式包括单独填埋与混合填埋，宜采用污泥和生活垃圾混合填埋。不具备焚烧、土地利用和建筑材料综合利用条件的污泥，可采用卫生填埋处置。卫生填埋前的污泥需进行减量化、稳定化处理，含水率应小于 60%。未经脱水处理达标的污泥不得在填埋场填埋。污泥用于混合填埋或用作垃圾填埋场覆盖土添加料时，泥质均应满足《城镇污水处理厂污泥处置 混合填埋泥质》(GB/T 23485)的规定。采用协同处置方式的，卫生填埋可作为协同处置设施故障或检修等情况时的应急处置措施。

2. 污染治理技术需求

随着污水处理技术的发展及对安全环保的要求，污泥的处理处置是当前城镇污水处理厂亟待解决的关键。作为一种有价值的资源，污泥进行减量化、无害化处理后再利用，可满足污水处理厂可持续发展的需求。结合我国污泥特性，以污泥处理技术为基础，发展污泥资源

化处理处置技术是未来发展的方向。污泥焚烧由于其占地小、处理效率高且回收热能和灰分无机资源等优势，可能是未来最具潜力的污泥处理处置方式。各地区应因地制宜，根据各地经济、技术等特点选择合适的污泥处置方式。目前，污泥焚烧处理的技术尚未成熟，仍然存在二次污染、处理费用较高、焚烧灰渣的资源利用等方面问题，高效低耗焚烧炉的研制、热能利用、提高污泥热值的生物质耦合污泥共焚烧技术将是将成为污泥资源化技术主要研究方向。

（二）建筑垃圾技术水平与需求

1.污染防治技术水平

目前对建筑垃圾的处置工作尚处于起步阶段，整体认识不足，处理和资源化推进滞后，大多数城市建筑垃圾处置还处于简易填埋阶段。目前我国已建成投产和在建的建筑垃圾年处置能力在 100 万 t 以上的生产线仅 70 条左右，小规模处置企业几百家，总资源化利用量不足 1 亿吨。相关企业以民营为主，已建成规模化的生产线实际产能发挥不到 50%且大多处于非盈利状态。建筑垃圾总体资源化率不足 10%，整个建筑垃圾的产业规模还有着巨大发展空间。

建筑垃圾可按照工程渣土、工程泥浆、工程垃圾、拆除垃圾和装修垃圾分类收集、分类运输、分类处理处置。其垃圾收运、处理全过程不得混入生活垃圾、污泥、工业垃圾和危险废物，同时应优先考虑资源化利用。202 年成都市制定了《关于加强全市建筑垃圾管理强化建筑垃圾污染防治的实施意见》。该意见自 2021 年 9 月 2 日起施行，有效期 5 年。根据该意见，2021 年底，成都高新区、锦江区、青羊

区、金牛区、武侯区、成华区以外的各区（市）县至少建成 1 座大型临时性建筑垃圾消纳场（弃土场）并纳入名录管理，成都全市消纳能力达 2500 万立方米以上，建筑垃圾资源化处理能力达 700 万吨/年。2023 年底，成都全市建筑垃圾资源化利用率力争达 80%以上。

建筑垃圾中工程渣土主要利用现有地块进行工程回填、绿化用土、洼地填充、堆坡造景等综合利用处理方式；拆除垃圾以进入固定式建筑垃圾资源化处置为主，鼓励现场处置；工程垃圾（施工垃圾）鼓励采取以现场处置为主，进入固定资源化利用设施处置相结合的方式；装修垃圾进入具备装修垃圾处置工艺的固定或临时性建筑垃圾资源化处置场所处置；施工产生的工程泥浆应集中收集，经脱水或干化达标后外运处置，符合回填标准的用于土方回填。建筑垃圾处理及利用主要方式及优先次序见表 7-1。

表 7-1 建筑垃圾处理及利用优先次序

建筑垃圾类型	处理及利用优先次序
工程渣土、工程泥浆回填	作为生活垃圾填埋场覆盖用土；资源化利用；填埋处置
工程垃圾、拆除垃圾	资源化利用；回填；填埋处置
装修垃圾	分类、资源化利用；填埋处置

2.污染治理技术需求

重综合管理轻再循环利用。在提出建筑垃圾综合管理循环利用之初，就以“排放减量化、运输规范化、处置资源化、利用规模化”为主线，实行全过程监管，但在实际操作中，管理重心落在源头监管、运输监控上，更多在完善工地监管，解决运输车辆违规运输、违法倾倒，电子运单进场率不足等问题上下功夫，而在再循环利用方面力度稍显不够。这就造成整个社会对建筑垃圾再生产品了解比较贫乏，市

场更多还是青睐天然材料，对再生产品认可程度并不高，现阶段建筑垃圾再循环利用市场主要还是靠政府资源化指标推动，建筑垃圾循环利用市场面临较大压力。当然，建筑垃圾再循环利用本身具备社会公益性质，也有广阔的市场空间和潜力，仅靠市场调节难以实现资源高效利用和循环利用，还需要靠政府从多角度、全方位去推动。

居民小区装修垃圾成短板漏洞。装修垃圾在建筑垃圾总量中占比不高，但一直是建筑垃圾再循环利用中的短板。管理办法等对装修垃圾处置还比较粗放，除少量试点资源化处置，其余大部分装修垃圾送填埋场存放。2020年，生活垃圾分类全面实施以后，居住小区应设置装修垃圾投放暂存点或暂存设备，暂存点内装修垃圾要袋装并码放整齐，物业应当对居民装饰装修房屋产生的建筑垃圾制定治理方案，及时清运建筑垃圾，但实际操作中，相当多的居民小区装修垃圾投放暂存点名不副实：一方面是由于部分小区公共区域不足，又有邻避效应存在，暂存点设置不合理，无法满足小区装修垃圾暂存需求，有名无实；另一方面，部分小区装修垃圾完全是由居民自产自清，物业不负责小区居民装修垃圾清运，使得暂存点要么挪作他用，要么管理松懈，导致装修垃圾暂存点周边环境差，混投混放严重，名存实亡。而且装修垃圾未能在源头进行分类，使得末端处置消纳成本上升，装修垃圾分出率不高，资源化率低。

资源化处置能力与市场不匹配。建筑垃圾资源化处置设施是按照“永久+临时”来设置，政府也一直在鼓励社会资金参与建筑垃圾资源化处置设施建设和运营，但在媒体上却很少见到相关成功处置企业

信息报道。在实际运营中，部分区域资源化设施分布不合理，未能形成良性竞争态势，甚至有少数处置设施原料不足、不稳，经营困难，一方面，永久性固定式资源化处置工厂由于前期投入大，资金回收周期长，经营成本下降困难，又需要受排放指标限制，难以做大做强；另一方面，个别临时性或半固定式资源化利用设施受所在区域、自身条件限制，只能做初级筛选，处理工艺不过关，经营困难。正规设施运营产生漏洞，给非法消纳场和中转场留下孳生土壤，使得建筑垃圾违法倾倒、非法消纳行为屡禁不止，严重扰乱了建筑垃圾市场的正常秩序。

（三）园林垃圾技术水平与需求

现有资源化利用工艺包括堆肥，处理后土地利用、粉碎覆盖、生物质燃料成型工艺及制备填料，其中以堆肥处理后土地利用为主，粉碎覆盖为辅，其他方式作为补充。

（1）堆肥处理后土地利用。堆肥处理后土地利用是目前国内外园林废弃物较普遍的资源化处理方式之一。粉碎后的园林废弃物通过好氧发酵，在微生物的作用下将有机物转化为腐殖质，形成有机肥料和土壤改良剂后进行土地利用。该技术具有以下优点：园林废弃物主要成分可降解，降解率约占固体比例的60%；堆肥后产品有毒有害物质含量低，安全性好；资金、技术门槛相对较低，便于开展。但是在大城市也面临占地大、选址难、处理周期长、产品难以市场化等瓶颈问题。

（2）粉碎覆盖。园林废弃物铺设于植物周边土壤表面，可以减

少土壤水分蒸发、防止病虫害侵蚀、减少杂草、缓冲土壤温度变化、提供有机质，同时还可起到装饰美化的效果。因此，枯枝落叶、树皮、木片、硬果壳等不易分解的园林废弃物可粉碎后作为有机覆盖物利用。但是在生产覆盖物的过程中应注意粉尘和噪声控制。

(3) 其他利用方式。包括园林废弃物制备生物质燃料成型工艺、制备填料等利用方式。将园林废弃物粉碎后加工成燃料棒，可作为化石燃料的替代，但生产过程中可能造成二次污染。将园林废弃物制备海绵体混凝土可用于环境治理，但应用的范围有限且成本高，市场化推广受到限制，园林废弃物的利用量有限。水泥窑协同处置园林废弃物方式，将满足或经过处理后满足入窑要求的园林废弃物投入水泥窑，在水泥窑生产的同时实现园林废弃物的能源化和资源化利用。该方式需对水泥窑炉设备进行部分改造，园林废弃物入窑前需进行预处理，是工业企业削减化石燃料消耗量，也是解决园林废弃物出路问题的重要补充。

三、其他固废处理处置技术介绍

(一) 污泥处理处置技术

1. 污泥处理技术

1.1 污泥脱水处理技术

将流态的原生、浓缩或消化污泥脱除水分，污泥含水率可降低至50%~80%，污泥脱水是污泥减容减量的重要方法。当前污泥脱水主要处理方式包括：自然干化法、浓缩法、机械脱水法和造粒法等。自然干化法主要是脱除自由水；污泥浓缩用于脱除污泥的间隙水；机械

脱水法通常是先投加无机盐或高分子混凝剂对污泥进行预处理，改善脱水性能后再通过板框压滤机、离心脱水机等机械设备进行脱水；造粒法适用于混凝沉淀的污泥。自然干化法、机械脱水法的脱水污泥含水率为 65%~80%，污泥浓缩、造粒法脱水污泥含水率在 95%~98%、70%。机械脱水是当前污水处理厂常用的处理方法。然而，由于污泥成分复杂，其内含大量菌胶团、微生物及结合水，如不经过任何处理，难以直接通过机械方式脱水。为了获取更高的污泥脱水处理效果，通常对污泥进行调质处理。污泥调质主要是通过化学、物理或生物的方式预处理污泥，改善污泥的脱水性能，以提高污水脱水效果。物理调质是通过应力或施加能量等方式改变污泥脱水特性，包括热处理、冻融、超声、微波、水力调质等。化学调质是当前主流调质方式，常用无机或有机化学絮凝剂，工业应用上的化学法污泥调质采用的药剂有无机药剂和有机药剂，其中，无机调质药剂主要有氢氧化钙、聚合硫酸铁、三氯化铁等；有机药剂主要是高分子聚丙烯酰胺，投加量为 0.1%~0.5%。当前也有研究将高级氧化技术用于污泥调理，如过氧化氢、铁基硫酸盐等，目前这些研究尚处于实验室研究阶段。生物调质是指采用微生物、细胞提取物等改善污泥脱水性能，如生物溶菌酶技术等，但调质稳定性及机制有待进一步研究。当前污泥机械脱水技术主要存在药耗大、设备易损、结合水和间隙水去除困难、需要对污泥进行预处理等问题，开发低药耗、高处理效率的污水调质技术以及研发低能耗污泥脱水干化设备是未来发展方向。

1.2 污泥稳定化处理

污泥稳定化处理的实质是通过可控的物理、生物或化学手段，改变污泥易发生无序生化反应的状态，以降解污泥中的有机物质，将不稳定的有机物转化为较稳定物质，降低污泥二次污染风险的同时，为污泥后续处理处置尤其土地利用提供条件。污泥稳定化的方法主要有污泥消化、碱稳定、污泥堆肥等。污泥消化包括好氧消化，是指经过好氧微生物将污泥中的悬浮有机物部分降解为更稳定的有机化合物以及无机物的过程；厌氧消化通过污泥厌氧发酵，从而产生沼气，达到减量化、资源化的目的；污泥碱稳定化处理是指将氧化钙、镁盐、粉煤灰等同脱水污泥混合，通过污泥 pH 和温度的升高来实现污泥的杀菌、脱水；污泥堆肥主要是将污泥与有机质混合，通过控制生物种类、pH、温度等使其进行有氧高温发酵。国外发达国家大型污水处理厂通过厌氧消化等稳定化技术实现污水厂能源及资源回收；小型污水厂则采用好氧消化技术。与国外污泥处理处置发展水平相比，我国污泥稳定化处理与发达国家存在差异，厌氧消化技术在污泥稳定化处理方面占重要地位。近些年，随着对污泥处理处置的重视，越来越多污泥稳定化新技术也层出不穷，包括污泥固化稳定化技术、污泥氧化稳定化技术（包括湿法氧化法、氯氧化法等）、污泥等离子体处理获取可燃气体 CO 等，对稳定化机理进行研究、优化工艺、提高效率的同时节能降耗，是未来污泥稳定化技术发展和工业化应用的方向。

1.3 污泥热干化处理

污泥热干化是通过热调理过程破坏污泥胶体，实现活性污泥生物

细胞破壁，析出生物内部水、毛细水、附着水，杀灭病毒细菌等活性有害物质。经热干化的污泥具有较强的稳定性，对环境影响小。

2. 污泥处置技术

2.1 卫生填埋

卫生填埋是污泥最传统的处置方式，有单独填埋、混埋及特殊填埋等方式，适于污泥的大批量处理。我国常将脱水污泥同生活垃圾混埋。由于污泥卫生填埋具有卫生指标要求不高、操作简便且成本低等特点，目前我国约 16% 的污泥进行卫生填埋处置。然而，污泥填埋产生的渗滤液对周边土地和水体带来极大污染，且造成磷资源的浪费，加剧温室效应。随着污泥产量的逐年增长，卫生填埋场地占据土地资源，各国逐步禁止。我国《地下水管理条例》（2021 年）第 40 条中明确指出禁止利用污泥填废弃矿坑等。尽管卫生填埋存在很多问题，由于当前污泥处置能力不足且污泥资源化消纳途径尚未完全打通，污泥填埋并不能被其他处置方式完全取代。目前卫生填埋的主要发展方向为渗滤液的处理、填埋气的利用、防渗材料的研发等。

2.2 土地利用

污泥中含有大量有机营养成分和微量元素，可通过一定处理后进行土地利用，是污泥资源化利用的方式之一，主要包括农业利用、园林绿化利用以及土地改良等。污泥组成成分中含有对植物、土壤有害的病原菌、重金属等，直接土地利用会造成土壤及地下水的污染。美国专门制定了污泥土地利用相关的法规；日本则成立了污泥还田委员会；目前我国约 48.5% 的污泥用于土地利用。污泥堆肥后或无害化处

理后再利用是土地利用的主要方式，具有过程简单、产物可作农肥和土壤改良剂等特点，但肥效较低，污泥中污染物还会污染土地、影响植物生长。此外，堆肥对于污泥的减量效果有限、周期较长且易产生臭气。目前我国污泥土地利用产业面临的主要问题为缺乏工程应用技术规范指南、缺乏风险评价和管理体系、缺乏相应政策等。

2.3 建材利用

剩余污泥中含有丰富的有机物以及硅、铝、铁等无机成分，在污泥中添加一定量的粉煤灰、高岭土等无机辅料后进行建材生产是一种经济有效的资源化方法，可以烧结砖、制轻质陶粒、制水泥等建材，不仅可以解决污泥处理费用高、处理处置困难及对环境造成二次污染隐患的问题，更符合循环经济的发展理念，可产生一定的经济效益，有效利用资源达到保护环境的目的。但当前由于符合建材生产要求的污泥产量少，在制作建材的过程中添加大量无机辅料作为骨架，成本高、适用范围小且污泥成分复杂，用于生产污泥建材工艺不同对其性能影响较大，而我国尚缺乏污泥建材规范生产和检测相关标准规范。更重要的是，目前尚未形成完备的污泥再生建材产品出路，市场流通不足，导致污泥建材利用受限。为促进污泥资源化发展，在污泥建材利用方面的研究将集中于优化辅料配比以降低建材生产成本，研制以污泥为主料的新型建材，完善污泥再生建材生产技术标准规范及检测标准，并制定产业政策开拓建材利用市场。

2.4 污泥焚烧

污泥焚烧处置通常是在一定温度、有氧条件下对污泥进行焚烧，

使污泥中的有机物发生燃烧反应，转化为二氧化碳、氮气、无机灰分等物质，是目前最彻底、最快速的污泥处置方式，能彻底实现污泥减量化，可最大限度减少污泥容积，将市政污泥体积减小 70%~80%；彻底实现污泥稳定化与无害化，完全消除病毒和病原菌并将其转化成更为稳定的无机灰分。污泥经过焚烧后，可将自身的热值转化为热能用于市政污泥的干化，或转化为电能用于发电。污泥灰中富含磷，可从污泥焚烧灰分中提取高品位磷以缓解当前磷资源危机。焚烧具有占地面积小、处理效率高且无害化彻底的优点，欧洲国家及日本早年就开始实施污泥焚烧处置。随着填埋场地逐年变少，我国对污泥土地利用出台了严格政策，污泥焚烧的处置方式被逐渐重视，目前我国现有 32.7% 的污泥进行焚烧处置。污泥焚烧方式分为单独焚烧和共焚烧。其中，单独焚烧是指将污泥在辅助燃料下放入焚烧炉内进行焚烧。由于我国市政污泥热值较低，污泥与其他有机废物如秸秆等进行共焚烧后，增加了灰分中的土壤有效磷，且对各类作物的试验中效果均较好，尤其油料作物。将经过干化处理的污泥进行焚烧，能量赤字、处理成本以及投资成本与传统工艺相比更低，是一种作为极具前景的污泥处置方式。

（二）建筑垃圾处置技术

某建筑垃圾资源化处置生产线工艺流程，通过分选—破碎—筛分工艺，分别得到再生骨料、废金属、杂物、渣土等，其中分选系统包含磁选、风选、人工拣选、浮选等多重工序，确保各种杂物的有效分离与再生骨料的清洁；破碎系统采用两级颚式破碎、一级圆锥破碎的

组合，损耗低、维护简单，再生骨料粒度控制在 40 mm 以下；筛分系统采用两级振动筛，一级用于渣土分离，二级用于返料及成品筛分。但该工艺缺乏骨料整形强化设施，其再生骨料产品的粒形、压碎值、微粉含量等指标难以满足再生混凝土的生产要求，主要用于生产道路基层无机混合料及低等级垫层混凝土。

建筑垃圾资源化处置的研究起步较晚，尚未形成完整的工艺技术体系。为规范建筑垃圾再生骨料的生产和应用，近年来先后颁布了 GB/T 25176—2010《混凝土和砂浆用再生细骨料》、GB/T 25177—2010《混凝土用再生粗骨料》和 JGJ/T 240—2011《再生骨料应用技术规程》，规定了再生骨料的分类和规格、性能指标要求、试验检验方法和规则、运储及在各类再生建材制品中应用的技术要求。

（三）园林绿化废弃物处置技术

园林绿化废弃物含有的有机质含量丰富，其具有易腐烂的属性，粉碎后可成为优质的有机肥原材料。处理堆肥要依次通过粉碎、调控理化性质、接种（置入有机物料腐熟剂）、鼓风、推翻以及筛分完成。堆制有机肥的关键技术是发酵过程各项参数的最优化。一是水的质量分数控制在 40%~60% 之间，可通过含有水质量分数较高的草和较低的树枝混合、加水、搅拌或机械通风等方式进行调控；二是碳化比，发酵材料的碳化比控制在 25:1~35:1 之间；三是 pH 值，原材料 pH 值越接近 7，发酵过程的效率越高。同时，利用好氧堆肥技术，加快堆腐速度，变废为宝，实现资源有效化、无害化、循环化利用。在此期间，适宜堆肥菌剂的筛选尤其重要，通过对从园林废弃物高温好氧

发酵堆体中筛选得到的菌株进行分子生物学鉴定得出目标菌，通过高效菌种和园林垃圾协同发酵制作有机肥，不仅实现了资源循环再利用、再生，而且还可有效改善土壤肥力，营造良好的生境。

其他固废处理处置主要技术见表 7-2。

表 7-2 其他固废处理处置主要技术

污染物类型	技术名称	技术原理	技术特点	应用领域
污泥	污泥脱水处理技术	当前污泥脱水主要处理方式包括：自然干化法、浓缩法、机械脱水法和造粒法等。自然干化法主要是脱除自由水；污泥浓缩用于脱除污泥的间隙水；机械脱水法通常是先投加无机盐或高分子混凝剂对污泥进行预处理，改善脱水性能后再通过板框压滤机、离心脱水机等机械设备进行脱水；造粒法适用于混凝沉淀的污泥。	自然干化法、机械脱水法的脱水污泥含水率为 65%~80%，污泥浓缩、造粒法脱水污泥含水率在 95%~98%、70%。机械脱水是当前污水处理厂常用的处理方法。	脱水后常用于焚烧或填埋。
	污泥稳定化处理技术	通过可控的物理、生物或化学手段，改变污泥易发生无序生化反应的状态，以降解污泥中的有机物质，将不稳定的有机物转化为较稳定物质。	降低污泥二次污染风险的同时，为污泥后续处理处置尤其土地利用提供条件。	技术适用于实现污水厂能源及资源回收。
	污泥热干化处理技术	通过热调理过程破坏污泥胶体，实现活性污泥生物细胞破壁，析出生物内部水、毛细水、附着水，杀灭病毒细菌等活性有害物质。	经热干化的污泥具有较强的稳定性，对环境的影响小。	污泥可应用于园林绿化或农业。
	卫生填埋技术	污泥最传统的处置方式，有单独填埋、混埋及特殊填埋等方式。	具有卫生指标要求不高、操作简便且成本低等特点，目前我国约 16%的污泥进行卫生填埋处置。	单独填埋、混埋及特殊填埋等

污染物类型	技术名称	技术原理	技术特点	应用领域
	土地利用	污泥中含有大量有机营养成分和微量元素，可通过一定处理后进行土地利用，是污泥资源化利用的方式之一，主要包括农业利用、园林绿化利用以及土地改良等。	具有过程简单、产物可作农肥和土壤改良剂等特点。	可将污泥作农肥和土壤改良剂等
	建材利用	在污泥中添加一定量的粉煤灰、高岭土等无机辅料后进行建材生产是一种经济有效的资源化方法，可以烧结砖、制轻质陶粒、制水泥等建材。	可以解决污泥处理费用高、处理处置困难及对环境造成二次污染隐患的问题，可产生一定的经济效益。	用于烧结砖、制轻质陶粒、制水泥。
	污泥焚烧	通常是在一定温度、有氧条件下对污泥进行焚烧，使污泥中的有机物发生燃烧反应，转化为二氧化碳、氮气、无机灰分等物质，是目前最彻底、最快速的污泥处置方式。	能彻底实现污泥减量化，可最大限度减少污泥容积，将市政污泥体积减小 70%~80%；彻底实现污泥稳定化与无害化，完全消除病毒和病原菌并将其转化成更为稳定的无机灰分。	适用于市政工程污泥处置、沼气发电等。
建筑垃圾	建筑垃圾资源化处置	通过分选—破碎—筛分工艺，分别得到再生骨料、废金属、杂物、渣土等。	可用于生产道路基层无机混合料及低等级垫层混凝土。	可用于生产道路基层无机混合料及低等级垫层混凝土。
园林绿化废弃物	堆肥技术	园林绿化废弃物有机质含量丰富，其具有易腐烂的属性，粉碎后可成为优质的有机肥原材料，通过高效菌种和园林垃圾协同发酵制作有机肥。	不仅实现资源循环再利用、再生，而且还可有效改善土壤肥力，营造良好的生境。	常作为优质的有机肥原材料。

四、其他固废处理处置技术典型应用案例

案例一：成都市某污泥处理厂一期污泥处置工程

项目概况：成都市某污泥处理厂一期采用半干化+焚烧工艺，目

前污泥厂主要接收的是成都市某净水厂净化污水产生的污泥。某净水厂目前每天大约会处理一百万吨污水，大概会产生 600 吨污泥。污泥厂主要包括接收储运、干化、焚烧、余热回收、烟气处理五大系统，焚烧系统产生的 880℃的烟气，会通过余热回收系统，再次进入系统。而 400 吨的污泥经过处理，会减量为 40 吨的粉状灰渣。原计划是接纳成都市中心城区已建的 9 座污水处理厂的污泥处理，实际是仅处理第九污水处理厂的污泥。

设计规模：400 t/d（20% DS）

技术工艺流程：污泥处理采用“半干化+焚烧处理工艺”，烟气处理采用“湿法脱酸”工艺；臭气处理采用“一体化生物除臭装置+活性炭吸附装置”工艺。共分2条生产线，各设干化机、焚烧炉、烟气处理系统1套。污泥接收料仓接收400 t/d含固率20%的机械脱水污泥，通过螺杆泵送入高位料仓；高位料仓的污泥通过螺杆泵将其送入薄层干化系统进行半干化，污泥含固率从20%提升至30%~38%；干化后的污泥通过柱塞泵将其送入流化床焚烧炉进行焚烧；焚烧产生的热烟气，首先进入高温空预器将焚烧炉所需的流化空气加热至400℃，然后烟气进入余热锅炉继续回收其热量，所产生的蒸汽作为干化机的热媒。从余热锅炉排出的烟气进入烟气处理系统，烟气经“湿法脱酸，预留干法脱酸接口”净化处理后达标排放。焚烧产生的收尘灰和飞灰储存在收尘灰仓、灰仓中定期外运。卧式薄层干化机属间接加热的形式，采用蒸汽为热媒，其干化所需蒸汽一部分由余热锅炉供给，不足部分由补充热源的燃气锅炉供给。臭气处理采用“一体化生物除臭装

置+活性炭吸附装置”工艺。

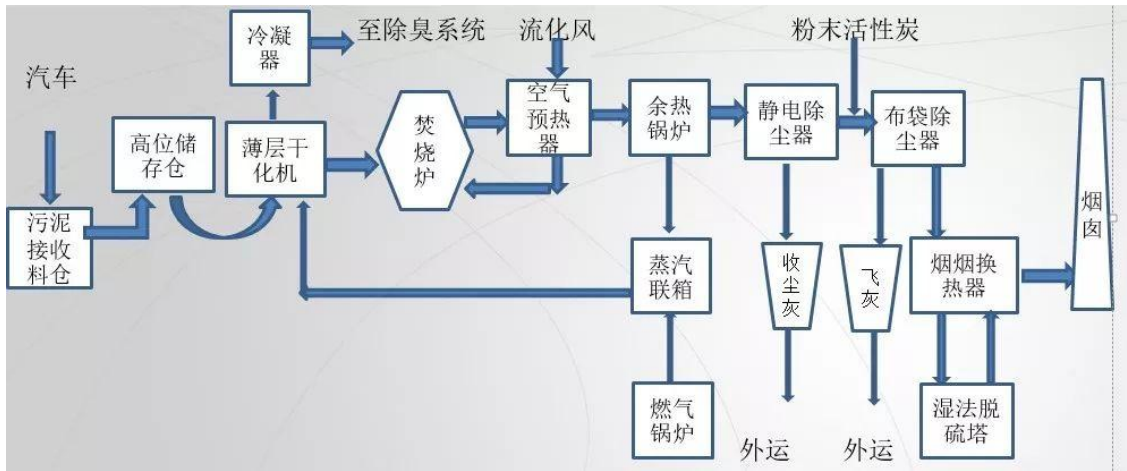


图 7-2 生活污水处理处置主要工艺流程

运行情况：自2013年开始运行以来，已正常运行约10年，平均日处理污泥量均在400 t/d以上（实际415 t/d左右），烟气排放标准满足国家的相关要求（特别是NO_x化合物基本在30 mg/L以下，远低于国家及欧盟标准），在2016年已通过环保验收。主要特点：

污泥热值得到了大幅度提高，平均低位热值从 10.88 MJ/kg 提升到 13 MJ/kg 以上，最高达到 16 MJ/kg。

根据运行情况，对部分工艺流程进行了技改优化，如增设湿法脱硫塔；烟烟换热器更换为蒸汽换热器；高位储存料仓设备漏泥整改等措施。

燃气、水、电、药的耗量均低于设计值，特别是 2018 年平均耗气量仅为 14.33 Nm³/t 湿泥，电耗为 76.67 kW·h/t 湿泥；冬季基本可以不添加天然气。

每日收尘灰和飞灰的产生量约 41 t/d（54.74 m³/d），污泥焚烧减量率均在 90%以上。

案例二：基于厌氧消化的攀枝花市餐厨垃圾和污泥协同处置项目

项目名称：攀枝花市餐厨垃圾和污泥处置项目

项目概况：建设一座日处理 200 吨餐厨垃圾和污泥协同处置的污水处理厂，其中日处理餐厨垃圾 100 吨和日处理污泥 100 吨。

项目投资：13520 万元

技术工艺路线：

该项目采用的“餐厨垃圾源头预处理+污泥与餐厨垃圾协同厌氧消化+好氧有机肥”处理工艺，生产粗油脂（生物油脂）、沼气、有机肥及营养土，其中沼气发电自用。

预处理阶段。污泥由生活污水处理厂运输车运入，进厂污泥含水率 $\leq 80\%$ ，直接通过管道泵入均质池，卸料时喷洒除臭液进行恶臭防治。餐厨垃圾预处理通过接料初选、湿热水解、杂质浆液分离和热解提油后，油水分离的水浆进入均质池与污泥进行混合，进入厌氧预发酵阶段。

厌氧协同。均质后的物料通过密闭管道进入厌氧消化系统（厌氧罐），采用间接加热中温厌氧发酵，热量来自沼气锅炉余热利用，厌氧罐采用变频泵调节进行底部进料，顶部溢流出料的方式序批式进料，发酵罐内部设置检测装置对发酵罐内部压力、甲烷以及二氧化碳含量指标进行测定和监控，发酵过程中产生的沼气进入净化单元，净化处理后利用，沼液及沼渣经密闭管道输送至固液分离车间进行脱水，脱出的沼液进入污水处理站处理，脱水后的沼渣与餐厨垃圾预处理工段的固渣在堆肥车间进行好氧堆肥。

好氧堆肥。将厌氧消化后的固液混合物打入固液分离车间的收集池，经挤压脱水机进行固液分离，分离出的沼液进入污水处理站，含水率 $\leq 60\%$ 的沼渣在堆肥车间进行堆肥制备，高温发酵一次时间为12~15天，通过翻抛机翻抛通氧，物料温度可达65~70℃，此过程有机物进一步分解，水分减少，病菌被杀灭，陈化15~21天腐熟后可作为营养土综合利用。

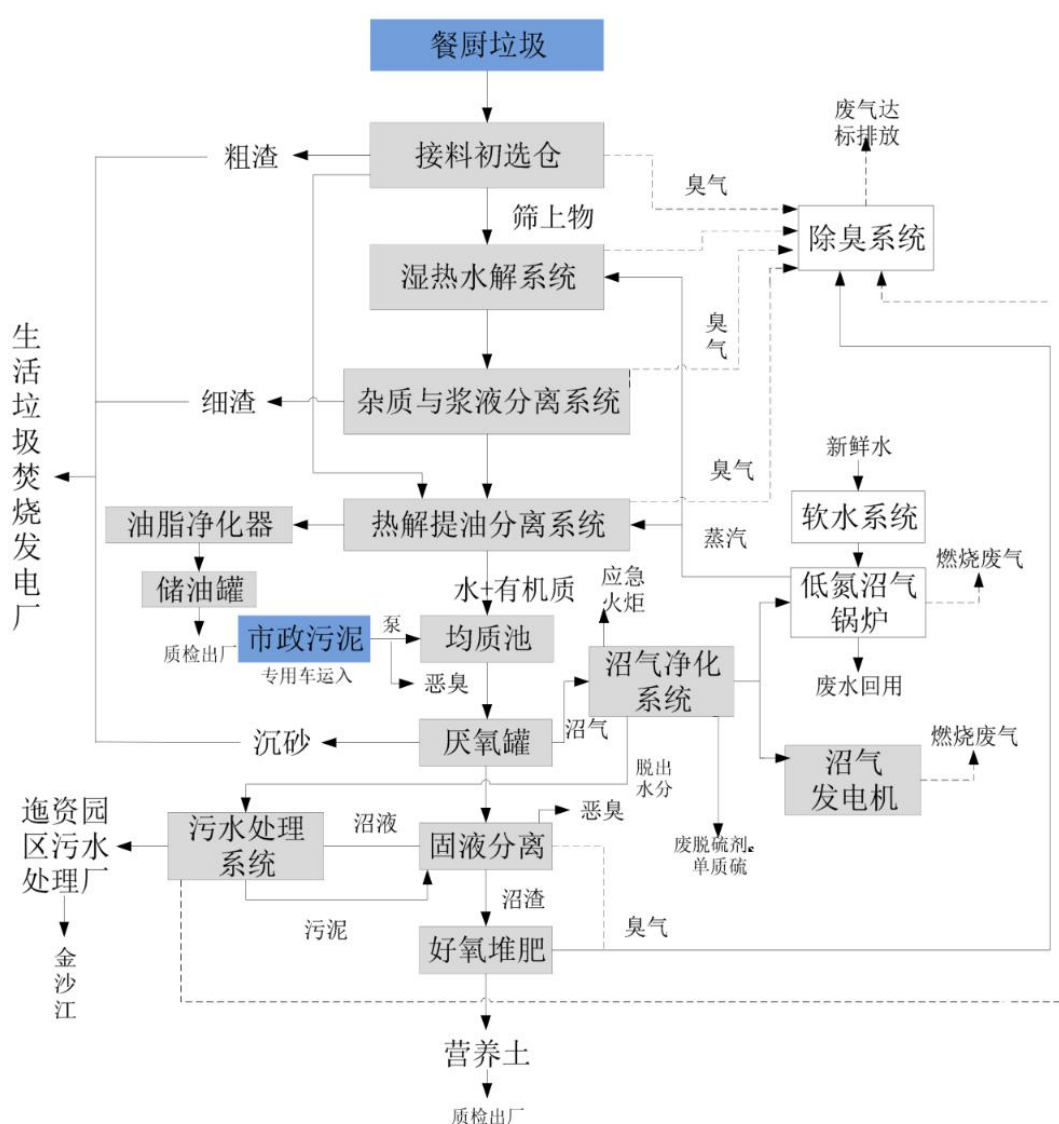


图 7-3 项目总体工艺流程图

运行效果：通过该项目建设，生活污水与餐厨垃圾均可得到无害化处理，同时产出油脂、沼气和营养土，粗油脂可出售有资质的废弃油脂加工企业，沼气自用发电及锅炉燃料，营养土外售综合利用。截止 2022 年底，攀枝花市餐厨垃圾处理项目自投产以来，已处置固废 3.96 万吨，产出生物粗油脂 2000 余吨，产沼气 3496 万立方，实现生活污水和餐厨垃圾处置无害化、资源化的协同处置。

达到标准：项目达到《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》《餐厨垃圾处理技术规范》(CJJ184—2012)《生活垃圾堆肥处理厂运行维护技术规程》(CJJ 86—2014)《城镇污水处理厂污染物排放标准》和城镇污水处理厂污泥处置相关法规和行业标准要求，处置工艺、噪声和水、气等废弃物排放要达到环保要求和卫生防护标准。经处置后的产品须达到环保、食药、农牧等部门资源化利用的规范要求。

五、结论与展望

(一) 结论

我省早期在生活污水、建筑垃圾和园林绿化废弃物三类固体废物处置中普遍存在基础能力不足、成熟技术储备不足等问题，近年来各地区结合当前面临的处理处置困境，逐步将生活污水、建筑垃圾和园林绿化废弃物处置纳入城市发展规划，围绕三类固废的减量化、稳定化、无害化与资源化，处理技术应用取得较大进展，相关政策和标准也日趋完善。城市污水厂剩余污泥的处置已经成为当今环境保护中的重点难点，采用先进技术，使其有效地减量化，是现代城市保护环境、遏制二次污染的重要方法，也是我省在实现高质量发展要解决的重大

环境问题。另一方面，充分利用剩余污泥中的生物质等有价值的成分，使其变废为宝是节约能源、发展循环经济的有效途径。因此，需要不断研发出新的技术，实现城市剩余污泥最大限度的减量化和资源化利用，对环境的保护和经济的发展作出贡献。

（二）展望

下一步围绕高质量发展、绿色、低碳、循环的技术应用将深刻影响三类城市固体废物处理处置技术，尤其是在无废城市建设的过程中，针对目前对于生活污水处理的现状，首先改变传统填埋为主的处理方法，在满足环境保护和环境质量改善需求为长远目标，在充分考虑城市特点、污泥产量、泥质特性、建筑垃圾分类情况、环境容量、城市发展、土地资源及周边情况等基础上，进行系统研究选择符合政策要求、顺应城市发展趋势的处置方式。如：“十四五”规划和2035年远景目标纲要明确了“推广污泥集中焚烧无害化处理”。国家发展改革委与住房和城乡建设部《城镇生活污水处理设施补短板强弱项实施方案》明确了“在土地资源紧缺的大中型城市鼓励采用生物质利用+焚烧模式”。成都市等大城市因土地资源极度紧张，本地绿化等有机废物消纳压力大等因素，采用本地处置+异地协同的处置方式。全省各城市应基于当地基础条件，全方位多角度综合对比后，选择适合自身发展的污泥处理处置方式。

针对废弃物的特点，开展三类废弃物回收利用与现代产业相结合的研究，为低碳绿色资源化利用新模式的构建提供研究基础和技术支撑。积极采用新工艺、新技术、新材料和新设备针对当下相关政策制

定、执行的整体性、系统性、协同性需求，推进资源化利用治理体系和治理能力现代化建设，加强科技支撑、科学决策。在新型智慧城市建设的基础上，深化运用互联网思维，发挥大数据支撑，以精细化、智能化为牵引，科学设置结构，优化治理流程，构建新的管理模式。生活污水、建筑垃圾和园林废弃物等其他类型固体废物的妥善消纳对于改善城市生态环境、提高人民群众生活质量具有不可小觑的作用。新方法、新技术、新工艺和新装备对于处理城市固废发挥了重要作用，但也面临一些困难和挑战。未来，城市其他类型固废将以实现循环可持续，碳中和，且经济适用长效的处理处置模式和技术体系，在更因地制宜的政策规划标准框架下，共同支撑城市固废的绿色低碳发展。